

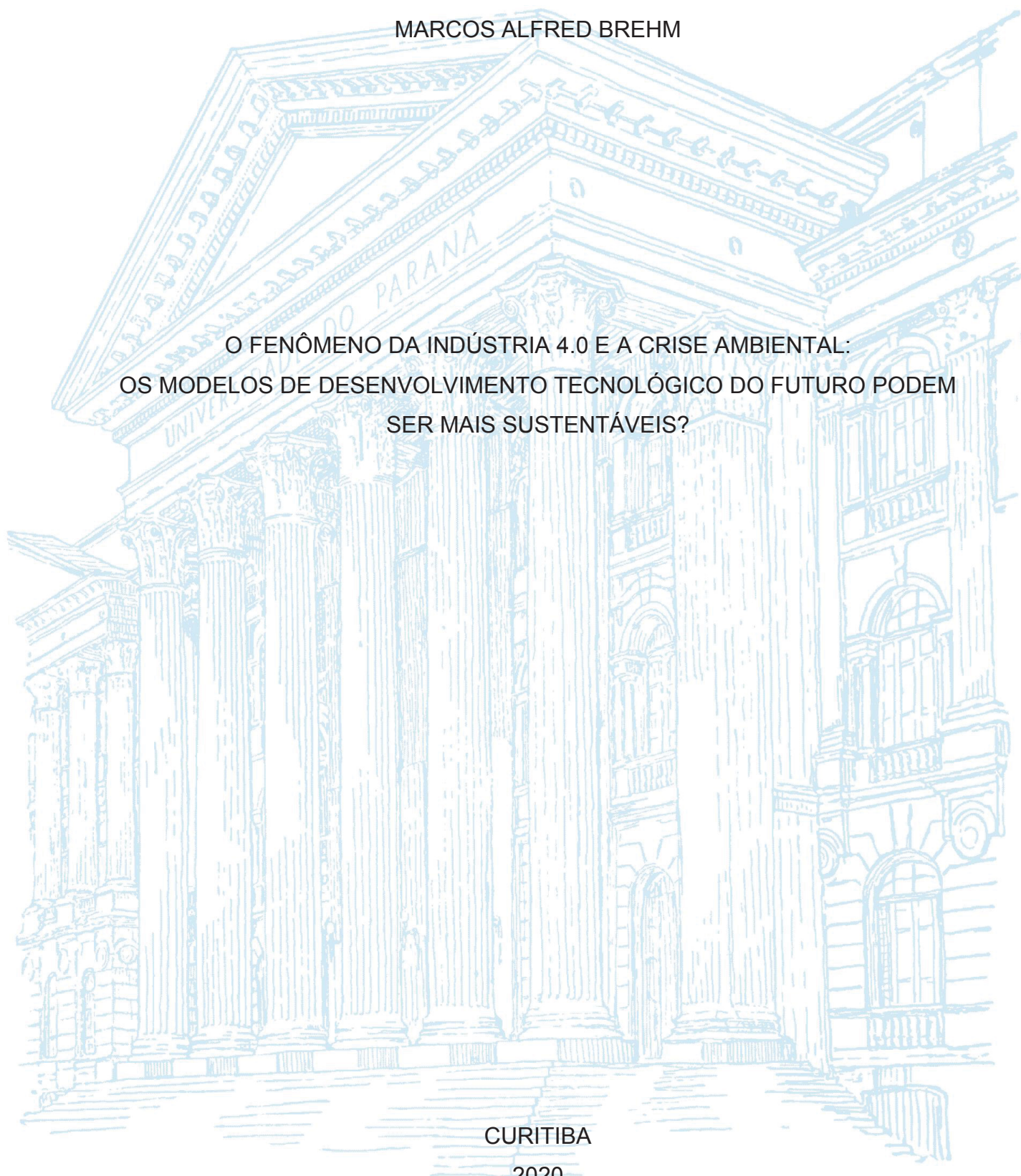
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCOS ALFRED BREHM

O FENÔMENO DA INDÚSTRIA 4.0 E A CRISE AMBIENTAL:  
OS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO FUTURO PODEM  
SER MAIS SUSTENTÁVEIS?

CURITIBA

2020



MARCOS ALFRED BREHM

O FENÔMENO DA INDÚSTRIA 4.0 E A CRISE AMBIENTAL:  
OS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO FUTURO PODEM  
SER MAIS SUSTENTÁVEIS?

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PPGMADE), Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. José Edmilson Souza-Lima

Coorientadora: Prof. Dra. Sigrid Andersen

CURITIBA

2020

Brehm, Marcos Alfred

O fenômeno da indústria 4.0 e a crise ambiental: os modelos de desenvolvimento tecnológico do futuro podem ser mais sustentáveis? / Marcos Alfred Brehm. - Curitiba, 2020.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Orientador: José Edmilson Souza Lima.

Coorientadora: Sigrid de Mendonça Andersen.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Indústria 4.0. 3. Meio Ambiente - Crise. I. Lima, José Edmilson de Souza. II. Andersen, Sigrid de Mendonça. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO - 40001016029P1

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARCOS ALFRED BREHM** intitulada: **O FENÔMENO DA INDÚSTRIA 4.0 E A CRISE AMBIENTAL: OS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICOS DO FUTURO PODEM SER MAIS SUSTENTÁVEIS?**, sob orientação do Prof. Dr. JOSE EDMILSON DE SOUZA LIMA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Abril de 2020.

Assinatura Eletrônica  
03/11/2020 14:47:18.0  
JOSE EDMILSON DE SOUZA LIMA  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica  
03/11/2020 16:11:59.0  
PABLO DEIVID VALLE  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica  
12/11/2020 09:26:20.0  
EDUARDO FELGA GOBBI  
Avaliador Externo (PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM  
MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL - PPGMAUI)

Assinatura Eletrônica  
03/11/2020 17:59:07.0  
RICARDO MENDES JUNIOR  
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA)

Para a Claudinha, uma pessoa que não está nem aí pra indústria 4.0 e suas relações com a crise ambiental, mas que mora no meu coração.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Valdir, tanto pelo auxílio de ordem burocrática quanto pelo auxílio de ordem lógica e organizacional, que foi simplesmente essencial para a concepção deste trabalho.

À professora Sigrid, pela auxílio ostensivo sem o qual esse trabalho sequer teria iniciado.

Ao professor Gobbi, pelas sugestões ricas, comentários pertinentes, e também pelas “viagens” que ajudaram a tornar este trabalho *sui generis*.

Ao professor Coimbra, pela amizade e total liberdade em escolher meu próprio tema e pelo auxílio referencial, que foram primordiais na concepção do trabalho.

Ao colega Fernando, pela amizade e pelo compartilhamento de angústias, que tiveram valor inestimável em quesitos motivacionais.

E especialmente ao professor orientador, Zé Edmilson, por todo o conhecimento compartilhado incondicionalmente e pela humildade e clareza ímpares, típicas dos muito sagazes, que tentarei levar como exemplo de vida.

*"seems to me this is one of those cycles, like it happened before. Those that participated in making the first personal computers in the early 80s were making an experiment in openness, until money came into play and Apple and Commodore showed up, then all the others followed. (...) It's like history repeating."*

Nota publicada no texto "**How Deep Is Your Love? On Open-Source Hardware**"

(CUARTIELLES, 2014, p.166)

## RESUMO

A tese tem como objetivo investigar indícios de que novos métodos de desenvolvimento, associados tanto ao enfrentamento da crise climática quanto a elementos da i4.0, poderiam indicar caminhos para um desenvolvimento tecnológico mais sustentável e quais seriam os desafios associados. Foram investigados as seguintes iniciativas: A empresa Tesla Motors, na área de geração distribuída; A plataforma Kickstarter, na área de financiamentos coletivos; A iniciativa Arduino, na área de hardware de código livre; O projeto OpenAI, na área de desenvolvimento de inteligência artificial; A empresa Block.One, na área de aplicação de Blockchain; e a ENoLL, na área de laboratórios vivos. Os resultados do trabalho indicam que, em termos gerais, o fenômeno da indústria 4.0 está pouco associado à questões ambientais, mas as iniciativas avaliadas têm potencial para se projetarem como possibilidades de enfrentamento da atual crise ambiental ao possibilitarem a criação de modelos de desenvolvimento alternativos ao modelo capitalista hegemônico. No entanto, também foram observadas evidências de aderência dessas iniciativas ao modelo hegemônico, o que suscita a necessidade de mais pesquisas na área a fim de encontrar formas de maximizar esse potencial de enfrentamento da crise climática.

Palavras-chave: Objetivos de desenvolvimento sustentável; Indústria 4.0; Crise Ambiental; Código Livre; Tecnologia; Meio Ambiente.



## **ABSTRACT**

The thesis aims to investigate indications that new methods of development, at same time associated with the confrontation of the climate crisis and the elements of i4.0, could indicate paths for a more sustainable technological development and which would be the associated challenges. The following initiatives were investigated: Tesla Motors, in distributed generation field; The Kickstarter platform, in crowdfunding field; The Arduino initiative, in open source hardware field; The OpenAI project, in artificial intelligence development field; Block.One, in theBlockchain application field; and ENoLL, in Living Labs field. The work results indicate that, in general terms, the industry 4.0 phenomenon is sparingly associated with environmental issues, but the evaluated initiatives have potential to project themselves as possibilities for facing the current environmental crisis by enabling the creation of alternative development models regarding the hegemonic capitalist model. However, there was also evidences of adherence of these initiatives to the hegemonic model, which raises the need for more researches in this field in order to find ways to maximize this potential to face the climate crisis.

Keywords: Sustainable development goals; Industry 4.0; Environmental Crisis; Open Source; Technology; Environment.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA GERAL DAS ETAPAS DO TRABALHO ENTRE A INTRODUÇÃO E AS CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	p.14
FIGURA 2 – PROCESSOS DE ADAPTAÇÃO CORPORATIVA PARA REDUÇÃO DE TEMPOS DE LATÊNCIA.....	p.24
FIGURA 3 – REDUÇÃO DOS TEMPOS DE LATÊNCIA ATRAVÉS DE ELEMENTOS TECNOLÓGICOS ASSOCIADOS A CADA ETAPA DO PROCESSO DECISÓRIO.....	p.5
FIGURA 4 – DIFERENTES NÍVEIS DE MATURIDADE I4.0 E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	p.28
FIGURA 5 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE RESULTADOS DE MEDIÇÃO E DE METAS ESTRATÉGICAS (“SITUAÇÃO ATUAL” E “SITUAÇÃO FUTURA”).....	p.30
FIGURA 6 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO MOSTRANDO A ORGANIZAÇÃO DE RESULTADOS.....	p.37
FIGURA 7 – OS TRÊS GRANDES EIXOS DA METODOLOGIA “TRIPLE BOTTOM LINE”.....	p. 42
FIGURA 8 - CRESCIMENTO POPULACIONAL MUNDIAL (EM PERCENTUAL AO ANO) E NÚMERO DE HABITANTES DE 1750 A 2100 (ESTIMATIVA).....	p. 45
FIGURA 9 - LIMITES PLANETÁRIOS EM DIFERENTES QUESTÕES AMBIENTAIS.....	p. 47
FIGURA 10 – O ASPECTO DE UMA HIPOTÉTICA FÁBRICA DO FUTURO (FRIA E ESCURA).....	p. 52
FIGURA 11 – CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA PRIMÁRIA POR FONTE, DE 1800 A 2017.....	p. 58
FIGURA 12 – MODELO PARA INTEGRAÇÃO ENTRE AS INICIATIVAS IIC E PLATTFORM I4.0.....	p. 60
FIGURA 13 – PRINCIPAL ZONA DE ATUAÇÃO DOS LIVING LABS.....	p. 81
FIGURA 14 – DIAGRAMA DA DINÂMICA DE UM LL A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.....	p. 84
FIGURA 15 – DIAGRAMA DA METODOLOGIA FORMIT PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS.....	p. 85
FIGURA 16 – QR-CODE COM O LINK PARA O QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA.....	p. 87

FIGURA 17 – INTERESSE DE PESQUISA NOS ASSUNTOS “INDÚSTRIA 4.0” (INDUSTRY 4.0) E “QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL” (FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION) VIA GOOGLE NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE JANEIRO DE 2011 A ABRIL DE 2019.....	p. 91
FIGURA 18 – TRAJETÓRIAS DE SUSTENTABILIDADE DA I4.0 EXPLORADAS NA LITERATURA.....	p. 95
FIGURA 19 – TENDÊNCIA NO USO DE TERMOS (VIA GOOGLE) ENTRE 2011 E 2016.....	p.110
FIGURA 20 – PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS SOBRE O USO DO ARDUINO EM EDUCAÇÃO ENTRE 2009 E 2016.....	p.111

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPARATIVO DE SETE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURIDADE EM RELAÇÃO AOS ELEMENTOS DA I4.0.....	p.19
QUADRO 2 – CAPACIDADES ASSOCIADAS À I4.0 DIVIDIDAS EM 4 ÁREAS...	p. 25
QUADRO 3 – COMPARATIVO DAS “REVOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS” DE EMPRESAS.....	p. 43
QUADRO 4 – TERMOS ASSOCIADOS AO FENÔMENO I4.0 UTILIZADOS EM DIFERENTES PAÍSES.....	p. 51
QUADRO 5 – COMPARATIVO DAS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS....	p. 54
QUADRO 6 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DOS LL.....	p. 82
QUADRO 7 – ATIVIDADES TÍPICAS EM LIVING LABS.....	p. 83
QUADRO 8 – CARACTERÍSTICAS DA I4.0 ASSOCIADAS AOS ODS EM CADA UMA DAS DIMENSÕES DO TBL.....	p. 94
QUADRO 9 – COMPARAÇÃO ENTRE FATORES ASSOCIADOS À I4.0 E AO TBL.....	p. 96
QUADRO 10 – QUADRO COMPARATIVO DAS INICIATIVAS AVALIADAS.....	p. 131

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – RESPOSTAS DA PESQUISA EM UMA INDÚSTRIA DE TECNOLOGIA A RESPEITO DA PERTINÊNCIA DAS ODS EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	p. 100
TABELA 2 – RESPOSTAS DA PESQUISA EM UMA INDÚSTRIA DE TECNOLOGIA A RESPEITO DA PERCEPÇÃO DOS RESPONDENTES QUANTO À (POSSÍVEL) RELAÇÃO DOS ODS COM AS CAPACIDADES DA I4.0.....	p. 101

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

Acatech - Academia alemã de ciência e engenharia

AGI - *Artificial General Intelligence*

AWG - *Anthropocene Working Group*

BTU - unidades térmicas britânicas

CBPT - *Crowd-based online technology*

CCL - Cultura do código livre

CIC - Cidade industrial de Curitiba

EIA - *U.S. Energy Information Administration*

EnoLL - *European Network of Living Labs*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

GNU - *GNU is Not Unix*

GPL - *GNU General Public License*

i4.0 - indústria 4.0

IA - Inteligência artificial

ICO - *Initial Coin Offering*

IDE - *Integrated Development Environment*

IIC - *Industrial Internet Consortium*

IoE - *Internet of Energy* (internet da energia)

IoP - *Internet of People* (internet das pessoas)

IoS - *Internet of Services* (internet dos serviços)

IoT - *Internet of Things* (internet das coisas)

LL - *Living Lab*

MES - *Manufacturing execution system*

MIT - *Massachusetts Institute of Technology*

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OIT - Organização Internacional do Trabalho

ONU - Organização das Nações Unidas

OSI - *Open Source Initiative*

P2P - *Peer-to-peer*

PLC - *Programmable Logic Controller* (ou CLP - Controlador Lógico Programável)

PLM - *Product Lifecycle Management*

POW - *Proof of work*

PPGMADE/UFPR - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

TBL - *Triple Bottom Line*

Tecpar - Instituto de Tecnologia do Paraná

TI - Tecnologia da Informação

TWh - teraWatt-hora

WEF - *World Economic Forum* (Fórum Econômico Mundial)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO: O HOMO SAPIENS E O ANTROPOCENO</b>	<b>3</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	8
1.2 PROBLEMAS, HIPÓTESES E OBJETIVOS	11
1.2.1 Hipóteses	11
1.2.2 Objetivo geral	12
1.2.3 Objetivos específicos	12
1.3 METODOLOGIA	12
1.3.1 Diagrama geral das etapas do trabalho	13
1.3.2 A área de tecnologia no contexto do PPGMADE/UFPR	15
1.3.3 Avaliação de tendências de uso de termos relacionados à i.4.0	17
1.3.4 Metodologias de medição de índice de maturidade i4.0	18
1.3.5 Metodologia <i>Acatech</i>	21
1.3.5.1 Áreas, eixos e capacidades i4.0 medidas	24
1.3.5.2 Níveis de maturidade (escala)	28
1.3.6 Escolha dos modelos de desenvolvimento tecnológico, iniciativas e ODS	32
1.3.7 Organização das categorias de avaliação e resultados	36
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>38</b>
2.1 A CRISE AMBIENTAL E OS ODS	38
2.1.1 Conceitos preliminares	38
2.1.2 Crescimento populacional	44
2.1.3 A crise ambiental e os movimentos ambientais	46
2.2 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E A INDÚSTRIA 4.0	49
2.2.1 Conceitos preliminares	50
2.2.2 Principais características da i4.0	52
2.2.3 A indústria 4.0 e as cidades inteligentes	58
2.2.4 O imaginário industrial	60
2.3 NOVOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO ASSOCIADOS A I4.0	63
2.3.1 Energias renováveis, geração distribuída e <i>Smart Grids</i>	63
2.3.2 Financiamentos coletivos	65
2.3.3 Software e Hardware Livre: O movimento <i>Open Source</i>	70
2.3.4 Sistemas de inteligência artificial	74
2.3.5 O <i>Blockchain</i> e suas possíveis aplicações	76



2.3.6 Laboratórios vivos ( <i>Living Labs</i> ).....	79
<b>3 O FENÔMENO DA I4.0 COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE .....</b>	<b>85</b>
3.1 ESTUDO ILUSTRATIVO E TENDÊNCIAS DA I4.0.....	86
3.1.1 Estudo ilustrativo: medição de maturidade i4.0 .....	86
3.1.2 Tendência de utilização de novos termos .....	90
3.2 OS ODS E A I4.0 FRENTE À CRISE AMBIENTAL.....	91
3.3 LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DE INICIATIVAS.....	101
3.3.1 <i>Tesla Motors</i> .....	102
3.3.2 Kickstarter .....	106
3.3.3 Arduino .....	108
3.3.4 Open AI .....	114
3.3.5 Block.one.....	117
3.3.6 ENoLL .....	121
3.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	125
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>

## 1 INTRODUÇÃO: O HOMO SAPIENS E O ANTROPOCENO

Passaram-se aproximadamente 13,5 bilhões de anos desde o “Big Bang”, e o primeiro organismo vivo surgiu provavelmente há cerca de 3,8 bilhões de anos no planeta Terra, dando início ao que hoje se chama de biologia. (HARARI, 2015 p.11) Embora a história da vida no planeta possa ser medida em bilhões de anos, a história do surgimento dos hominídeos usa uma escala de milhões de anos, enquanto a história do surgimento da espécie *Homo Sapiens* poderia ser medida em centenas de milhares de anos.

Com base em marcadores fósseis, a ciência geológica divide a história da Terra em Eras, Períodos e Épocas. Nesta linha de interpretação, a humanidade já se encontra há quase 12 milênios no Holoceno, que é a mais recente das “Épocas” do “Período” Quaternário, que se iniciou há 1,6 milhões de anos, quando haviam apenas hominídeos no planeta, mas ainda nenhuma espécie humana, que pertence à “Era” Cenozoica, que se iniciou há 65 milhões de anos, quando ainda não havia qualquer hominídeos no planeta. (VEIGA, 2017 P. 241)

Enquanto o bipedismo surgiu há 4 milhões de anos (MUEHLENBEIN, 2015, p. 109), a evolução da espécie fez com que hominídeos se tornassem fisicamente parecidos com homens há apenas 2,5 milhões de anos (HARARI, 2015 p.11-12). Muito embora haja evidência para afirmar que já fazem 400 mil anos desde o tempo no qual várias espécies de homem que habitavam o planeta começaram a caçar grandes animais, estima-se que fazem apenas 100 mil anos desde o momento no qual o atual *Homo Sapiens* foi parar no topo da cadeia alimentar, virando assim o maior predador do planeta, (HARARI, 2015 p.19).

E qual teria sido o segredo para a “vitória” dessa espécie? Provavelmente é o que torna esta própria discussão possível, ou seja, a linguagem. (HARARI, 2015 p.27) Mesmo que a anatomia do trato vocal necessária para produzir vogais tenha se tornado evidente a partir de fósseis de hominídeos do período paleolítico superior, que viveram na Europa há 40 mil anos, as bases neurais para a fala, o controle motor, a cognição e a língua provavelmente já estavam presentes na África já há 260 mil anos atrás (MUEHLENBEIN, 2015, p. 501), o que suscita que desde esta época os humanos eram bastante parecidos com os humanos atuais.

Mais especificamente, o autor Yuval Harari (2015) define o tempo de cerca de 70 mil anos, que ironicamente coincide com a época na qual o *Homo Sapiens* passa

a levar as demais espécies humanas à extinção (HARARI, 2015 p.28), como o período de “revolução cognitiva”. Esta revolução é caracterizada pela capacidade dos homens em transmitir maiores quantidades de informação: sobre o mundo à sua volta, que permitiu o planejamento de ações mais complexas; sobre suas próprias relações sociais, que permitiu viver em grupos maiores e mais coesos; e ainda sobre coisas que não existem de fato, como espíritos, nações, etc., que permitiu, por fim, uma cooperação entre um número muito grande de estranhos e uma rápida inovação do comportamento social. (HARARI, 2015 p.45)

Centenas ou dezenas de milhares de anos podem parecer muito tempo do ponto de vista histórico, no entanto, do ponto de vista evolutivo se trata de muito pouco tempo. Afinal, outros predadores de topo, como leões ou tubarões, evoluíram de forma gradual ao longo de milhões de anos, o que permitiu que os ecossistemas desenvolvessem formas naturais de compensação e evitando, assim, maiores desequilíbrios ecológicos. Mas isso não aconteceu no caso do *Homo Sapiens*, que ascendeu ao topo rápido demais e assim tanto não permitiu que o ecossistema se ajustasse quanto não permitiu que a própria espécie se ajustasse por si mesma. (HARARI, 2015 p.19-20)

Há cerca de 10 mil anos se iniciou uma segunda revolução na humanidade, a chamada “revolução agrícola”: entre 9,5 mil e 3,5 mil anos atrás, os humanos domesticaram todas as plantas que fornecem 90% das calorias para alimentação da humanidade até os dias de hoje. A importância desta época é evidente, posto que nos últimos 2000 anos nenhuma nova planta ou animal importante foi domesticado (HARARI, 2015 p.87-88). Esta revolução coincide com o final da “idade da pedra”, que contempla o período Paleolítico ou da “Pedra Lascada” e Neolítico ou da “Pedra Polida”, que durou até cerca de 4500 anos antes de Cristo, quando surgem as idades do cobre, bronze (a partir de 3300 a.C.) e ferro (a partir de 1200 a.C.) (NAVARRO, 2006 p. 3).

A revolução agrícola também trouxe mudanças substanciais na forma de vida da sociedade, algumas das quais perduram até os dias atuais. Os celeiros, cheios de alimentos, por exemplo, atraíram ladrões e inimigos, que por sua vez levaram à construção de muros (HARARI, 2015, 95). Também foi a partir desta época que a domesticação de animais passou a ter uma escala cada vez maior, passando de alguns milhões no início da revolução agrícola para dezenas de bilhões atualmente (HARARI, 2015, p.102)

Muito tempo depois, há cerca de quinhentos anos atrás, época das primeiras navegações oceânicas, se iniciou mais uma revolução na humanidade, possibilitada por uma nova força motriz que também impulsiona a humanidade até os dias atuais: Era a chamada “revolução científica”. (HARARI, 2015, p.257) A revolução científica tem a característica de ser retroalimentada por um ciclo triplo entre Poder, Recursos e Pesquisa: As instituições políticas e econômicas, que detêm recursos financeiros, patrocinam pesquisas científicas, que geram novas capacidades, que por sua vez tem potencial para gerar mais recursos, alguns dos quais são reinvestidos em pesquisa. Esta revolução traz três conceitos importantes: a disposição para admitir a ignorância, de forma que nenhum conceito, ideia ou teoria seja inquestionável; as observações e as ferramentas matemáticas como formas de se criar teorias mais abrangentes; e a possibilidade de aquisição de novas capacidades, principalmente para desenvolver novas tecnologias. (HARARI, 2015, p.260)

No ano de 1500 a população humana era de cerca de 100 milhões de pessoas, poucas cidades tinham mais de 100 mil pessoas, a humanidade inteira consumia cerca de 13 trilhões de calorias diárias e o valor total de bens e serviços produzidos pela humanidade foi estimado em 250 bilhões de dólares ao ano. Pouco mais de 500 anos depois, a população mundial passa de 7 bilhões de pessoas, há diversas cidades com dezenas de milhões de habitantes, o consumo de energia é de cerca de 1,5 quadrilhão de calorias diárias (HARARI, 2015, p.257).

Se avaliado o crescimento populacional mais recente, a situação fica ainda mais evidente, pois se a população humana era de cerca de 700 milhões em 1750, período que marca o início da Revolução Industrial, somente no século XX a população humana cresceu de 1,65 para 6 bilhões. Com o crescimento populacional, a pressão sobre os recursos naturais do planeta também aumentou, o que está transformando o planeta. (ARTAXO, 2014 p. 15)

A relação entre ciência e tecnologia é ainda mais recente, e é em parte creditada a Francis Bacon em sua obra “*Novum Organum*”, que coloca a utilidade como parâmetro de teste para um “bom conhecimento”. Em suma, o “conhecimento útil” não seria o mais verdadeiro (posto que a “verdade” é um conceito vago na ciência), e sim aquele que gera mais poder. (HARARI, 2015, p.270)

O início da produção industrial (e conseqüentemente de uma sociedade de consumo), portanto, seria um fruto da revolução científica, e mais especificamente do encontro da ciência e da tecnologia, que começa a despontar no final do século

dezoito e inicia um período de grande consumo antrópico de recursos naturais, que se torna cada vez mais intenso ao longo do tempo, deixando, a começar nessa época, marcas indeléveis da civilização humana no planeta. Marcas indeléveis até mesmo ao ponto de definirem uma nova época geológica.

Com o desenvolvimento das máquinas a vapor e, posteriormente, dos motores a combustão interna, o uso de combustíveis fósseis (inicialmente carvão, depois petróleo e gás) cresceu exponencialmente, até esses se tornarem hoje responsáveis por 70% a 80% da energia total utilizada em nosso planeta. Isso levou ao aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que passou de cerca de 280 ppm, na era pré-industrial, para uma concentração média de 399 ppm, em 2015. Essa alta concentração não foi observada ao longo dos últimos 800 mil anos, pelo menos. (ARTAXO, 2014 p. 16)

Em maio de 2019 um painel de cientistas especialistas, chamado *Anthropocene Working Group (AWG)*, votou sobre a designação de uma nova época geológica, o “Antropoceno” para marcar oficialmente as maneiras profundas pelas quais os humanos alteraram o planeta. De 34 membros, 29 votaram favoravelmente sobre o envio de uma proposta formal para a nova época geológica à Comissão Internacional de Estratigrafia<sup>1</sup>, que define a escala de tempo geológico oficial, até o ano de 2021. A comissão ainda definirá o exato ponto de mudança de época, também chamado “*Golden Spike*”, no qual haveria uma “assinatura antropogênica” geológica suficientemente contundente. Por hora, a comissão definiu o ponto de mudança como “em meados do século XX”, quando, durante uma alta taxa de crescimento de sua população, a humanidade acelerou o ritmo da produção industrial, o uso de produtos químicos agrícolas e de outras atividades humanas. (SUBRAMANIAN, 2019)

As forças humanas responsáveis por estas possíveis “assinaturas antropogênicas” são um produto de três fatores interligados: o acelerado desenvolvimento tecnológico; o rápido crescimento da população humana; e aumento do consumo de recursos. A combinação destes fatores levou ao aumento do uso de metais e minerais, combustíveis fósseis e fertilizantes agrícolas; e ao aumento da transformação de ecossistemas marinhos, terrestres e costeiros para uso humano. Como resultado, dentre os efeitos destas ações, destacam-se a perda de biomas naturais tanto para agricultura quanto para cidades, estradas, etc.; e a

---

<sup>1</sup> *International Commission on Stratigraphy*, site: <http://www.stratigraphy.org/>

substituição de animais e plantas selvagens por espécies domesticadas para atender à crescente demanda por alimentos (WATERS et al., 2016), o que suscita quais seriam os limites seguros para utilização de recursos do planeta.

A discussão dos limites seguros de nosso planeta mostra que existe a possibilidade de que, ultrapassando os limites físicos de nosso planeta, podemos desestabilizar o relativamente estável clima que tivemos no Holoceno. Dois dos limites, mudanças climáticas e integridade da biosfera, estão em situação tão crítica que necessitam de medidas urgentes para a estabilização das condições de sustentabilidade na Terra. As pressões sociais, econômicas e ambientais vão aumentar nas próximas décadas, e precisamos urgentemente de um sistema de governança global para superar esses desafios. Essa tarefa pode demorar muitas décadas, por isso precisamos iniciar esse processo o mais rápido possível. O tempo corre contra a humanidade. (ARTAXO, 2014 p. 21-22)

Timothy Clark, na obra *"Ecocriticism on the edge: The Anthropocene as a threshold concept"* (2015), vai ainda mais longe: Afirma que o Antropoceno passará a confundir e até embaralhar alguns pontos cruciais nas categorias pelas quais as pessoas entendem tanto o mundo quanto suas próprias vidas. O autor ainda afirma que o conceito de Antropoceno passaria a atenuar as linhas de demarcação entre cultura e natureza, fato e valor e entre o humano e o geológico ou meteorológico. (CLARK, 2015, p.9) Os conceitos e as abordagens em relação a esta “crise ambiental” serão abordados mais detalhadamente no capítulo 2.1, ocasião na qual serão apresentados conceitos sobre o tema e ainda um breve histórico do movimento ambientalista, que culmina na concepção dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a partir de uma “agenda universal” da Organização das Nações Unidas (ONU).

Conforme será abordado de maneira mais detalhada no capítulo 2.2, mais recentemente e em um contexto que tem como foco principal diferentes modelos de produção industrial, a expressão “revolução industrial” passa a ser definida como “primeira revolução industrial”, para que possam ser definidas uma “segunda revolução industrial”, marcada pelo início do uso de motores elétricos e de combustão interna e a produção em linha, uma “terceira revolução industrial”, marcada pelo início da utilização de computadores e sistemas de automação, e, por fim, uma suposta “quarta revolução industrial”, associada a novas capacidades tecnológicas e cujo objetivo final seria a criação de sistemas de produção completamente autônomos, que operariam a produção sem qualquer necessidade de intervenção humana.

E esta quarta revolução industrial é também a origem etimológica da expressão “indústria 4.0” (i4.0), que surge por volta de 2011 e que pressupõe um novo padrão industrial de automação avançada. Este conceito se mostra como uma nova tendência de mercado e muito provavelmente será adotado massivamente nos próximos anos nas indústrias de todo o mundo.

Assim, a partir do conceito de crise ambiental e sua relação com os ODS, da perspectiva de mudanças no atual padrão industrial mundial para um conceito que está sendo conhecido como i4.0, o presente trabalho se propõe a tentar responder as seguintes perguntas: Em que medida o fenômeno da i4.0 poderia se contrapor à atual crise ambiental? Quais seriam os indícios que poderiam suscitar (ou não) esta contraposição? Iniciativas associadas ao fenômeno da i4.0 poderiam se apresentar como indícios substanciais de uma eventual contraposição?

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Mesmo que o fenômeno da i4.0 se encontre ainda em seus estágios iniciais, e independentemente deste vir ou não a ser cientificamente reconhecido como uma “revolução industrial” no futuro, alguns dos seus efeitos já se mostram profundos e com potencial de transformar a atividade econômica e financeira nos níveis global, nacional, empresarial e doméstico (DAS, 2018 p. 1), e portanto o tema merece destaque.

Poucos duvidam do potencial transformador da i4.0, e as expectativas são altas. Alguns analistas sugerem que o mercado de i4.0 será massivo: A consultoria *Gartner* acredita que o mercado da “Internet das Coisas”<sup>2</sup> (*Internet of Things*, ou IoT) valerá quase US\$ 3,7 trilhões até 2020. Uma pesquisa da consultoria *Morgan Stanley* sugere que o mercado de cibersegurança<sup>3</sup> (uma área essencial à i4.0) valerá cerca de US\$ 183 bilhões até 2020. A consultoria IDC acredita que o mercado de realidade virtual<sup>4</sup> e aumentada valerá US\$ 162 bilhões. No total, as estimativas

---

<sup>2</sup> IoT é um conceito que se refere à interconexão de objetos cotidianos (coisas) através de protocolos da internet.

<sup>3</sup> Cibersegurança é um termo que se refere a proteção de sistemas de informática contra: furtos e danos ao hardware, software ou dados eletrônicos; a interrupção de serviços digitais associados.

<sup>4</sup> Realidade virtual é um conceito que se refere a tecnologias de interface entre o usuário e um sistema de informática através de recursos gráficos tridimensionais com objetivo de gerar a sensação "de presença" em um ambiente virtual que é diferente do real.



atuais dos analistas para os mercados de componentes associados à i4.0 chegam a mais de US\$ 4,4 trilhões até 2020. (GATES e BREMICKER, 2017 p.5)

Sob a ótica brasileira, um estudo de 2016 da Confederação Nacional da Indústria concluiu que a indústria nacional está ainda se acostumando com os impactos da digitalização e da manufatura avançada sobre os setores e sobre os modelos de negócio: afinal, entre as empresas consultadas, 43% não puderam, a partir de uma lista com dez opções, identificar quais tecnologias digitais têm o maior potencial para estimular a competitividade da indústria. O desconhecimento a respeito destas novas tecnologias digitais é ainda maior nas pequenas empresas (57%), e apenas entre as grandes empresas o percentual cai para 32%. (CNI, 2016 p.3)

A mesma pesquisa indicou que para 66% das empresas o custo de implantação é a principal barreira interna para a adoção das tecnologias digitais. A “falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento” e a “estrutura e cultura da empresa” ficaram logo depois, com 26% e 24%, respectivamente. (CNI, 2016 p.10)

Tem-se, portanto, que a i4.0 é (basicamente) uma visão de futuro que prevê a incorporação de tecnologias baseadas em internet na indústria. As forças motrizes por trás da i4.0 são tecnologias, e somente aqueles que entendem isso poderão seguir tais visões. (DRATH, 2014 p.3) Assim, o desconhecimento sobre estas novas tecnologias (e, conseqüentemente, sobre as novas capacidades destas tecnologias para aumento de performance) é, de certa maneira, um desconhecimento sobre o próprio fenômeno da i4.0, o que mais uma vez justifica a realização deste trabalho.

O avanço das tecnologias digitais é visto como o pontapé inicial da i4.0, e se mostra a força propulsora de uma grande transformação econômica e social. A opinião compartilhada por muitos é de que a influência desse fator, com a acelerada mudança tecnológica dos últimos anos, é simplesmente inevitável. (HIRSCH-KREINSEN et al., 2016 p. 12)

Sendo inevitável a implementação de tecnologias associadas à i4.0 para se manter a competitividade perante o mercado industrial, em um futuro próximo provavelmente não caberá mais às indústrias decidirem se devem adotar ou não estas novas tecnologias, mas simplesmente decidirem quais delas deverão ser adotadas antes, de acordo com a capacidade de investimento e grau de maturidade de cada empresa. Neste sentido, Nicolau Maquiavel, ao comentar sobre o império



romano na obra “O Príncipe”, sentencia que “se a guerra é inevitável, sendo protelada redundará sempre em proveito de outros”<sup>5</sup>.

Convém ressaltar que no mundo, o setor industrial, que inclui refino, mineração, manufatura, agricultura e construção, responde pela maior parcela do consumo total mundial de energia de qualquer setor de uso final (entre os quais, residencial, comercial e transportes), representando mais da metade do consumo de energia de uso final durante uma projeção entre os anos de 2010 a 2050, conforme apresentado no estudo “*Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050*” (US-EIA, 2019), publicado pela agência do governo estadunidense *U.S. Energy Information Administration*<sup>6</sup> (EIA).

Segundo o estudo, o uso de energia do setor industrial mundial (assim como o consumo de bens) aumentará em mais de 30% entre 2018 e 2050. Em 2050, estima-se que o consumo global anual de energia industrial chegará a cerca de 315 quadrilhões de unidades térmicas britânicas (BTU). (US-EIA, 2019)

Desta forma, sendo a área industrial o maior vetor de consumo de recursos energéticos do planeta, e sendo inevitável a transformação da indústria atual aos moldes da i4.0, urge a necessidade de avaliar se as novas perspectivas de desenvolvimento (incluindo as propostas de ODS) serão ambientalmente mais sustentáveis no contexto da “crise ambiental”.

Historicamente, o Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná (PPGMADE/UFPR) tem como objetivo abordar problemas socioambientais concernentes à questão do meio ambiente e sua relação com o desenvolvimento. Mais especificamente, tem longa tradição em produzir trabalhos que dialogam sobre o Meio Ambiente em diferentes frentes, a saber: Epistemologia Ambiental; Ruralidades, Ambiente e Sociedade; Urbanização, Cidade e Ambiente Urbano; e Usos e Conflitos dos Ambientes Costeiros<sup>7</sup>.

Uma das propostas do programa é justamente “promover a formação e a produção do conhecimento por meio da pesquisa e da cooperação intelectual,

---

<sup>5</sup> Vide Capítulo III (Dos Principados mistos), quando Maquiavel faz comentários sobre a experiência dos Romanos.

<sup>6</sup> A *U.S. Energy Information Administration* (EIA) é uma agência estatística e analítica do *U.S. Department of Energy* (Departamento de Energia dos EUA). A instituição coleta, analisa e divulga informações independentes e imparciais sobre energia. (<https://www.eia.gov/about/>)

<sup>7</sup> Atuais linhas de pesquisa do PPGMADE/UFPR

integrando a diversidade plural de saberes e práticas sociais à pesquisa e à produção do conhecimento, com potencial de inovação nos diferentes setores da sociedade” (PPGMADE, 2020). No entanto, com a exceção específica na área de energia (linha de pesquisa extinta recentemente do programa), observa-se uma lacuna em relação aos trabalhos que relacionam novas tecnologias industriais à discussão de possíveis novos modelos de desenvolvimento mais sustentáveis.

O presente trabalho também justifica-se, portanto, como uma forma de apresentar um tema de destaque na área industrial (fenômeno da i4.0) no contexto da atual crise ambiental e sob as lentes do PPGMADE/UFPR. Ressalta-se, neste sentido, que o presente trabalho possui característica bastante exploratória, com intuito de fazer emergir novos temas de discussão dentro de um programa de pós graduação historicamente afeito a alternativas, e que, portanto, poderá acolher bem o presente trabalho.

## 1.2 PROBLEMAS, HIPÓTESES E OBJETIVOS

Neste item serão apresentadas as hipóteses que conduzem o estudo, o objetivo principal e os objetivos específicos que guiarão os demais capítulos, e conduzirão ao cumprimento do objetivo principal do trabalho.

### 1.2.1 Hipóteses

Uma das hipóteses considerada para o presente trabalho é de as novas perspectivas associadas à expansão das capacidades da i4.0 têm pouca relação ou comprometimento com a concepção de modelos de desenvolvimento mais sustentáveis no futuro.

Tem-se também como hipótese que certas iniciativas, diretamente associadas ao fenômeno da i4.0 e apresentadas neste trabalho, têm razoável potencial para se projetarem como possibilidades de enfrentamento da atual crise ambiental, ao possibilitarem a criação de modelos de desenvolvimento alternativos ao modelo capitalista hegemônico.

### 1.2.2 Objetivo geral

O principal objetivo do trabalho é investigar indícios de que novos métodos de desenvolvimento, associados tanto ao enfrentamento da crise climática quanto a elementos da i4.0, poderiam indicar caminhos para um desenvolvimento tecnológico mais sustentável e quais seriam os desafios associados.

### 1.2.3 Objetivos específicos

- a) A partir de um estudo de caso real em uma indústria de tecnologia, avaliar a percepção de colaboradores-chave sobre as capacidades relacionadas ao fenômeno da i4.0 frente à crise ambiental;
- b) Avaliar a tendência de protagonismo do fenômeno da i4.0 frente ao futuro da indústria e definir as categorias de avaliação referente às “capacidades i4.0”, aos ODS e a novos modelos de desenvolvimento frente à crise ambiental;
- c) Levantar iniciativas associadas aos novos modelos elencados e aos ODS elencados, e avaliá-las em relação a capacidade de ação associadas à i4.0 e em relação suas capacidades de enfrentamento da crise ambiental;
- d) Apresentar um panorama geral dos resultados e tecer considerações finais a respeito do potencial das iniciativas frente à crise ambiental e das características em comum dos modelos de desenvolvimento tecnológico avaliados.

## 1.3 METODOLOGIA

Neste capítulo será inicialmente apresentado um diagrama geral das etapas do trabalho, no intuito de demonstrar os métodos utilizados entre os capítulos de introdução e de considerações finais (subcapítulo 1.3.1). Após a apresentação geral da metodologia proposta, serão realizadas algumas considerações sobre as relações do presente trabalho com a matriz epistêmica do programa PPGMADE/UFPR (subcapítulo 1.3.2).

A sequência do trabalho apresenta a metodologia para definição de quais termos de pesquisa estão associados mais fortemente ao fenômeno da i4.0 e para verificação da tendência de pesquisas associadas à i4.0 (subcapítulo 1.3.3). Então são apresentadas algumas metodologias para “medição de índice de maturidade i4.0” e, de forma mais detalhada, a metodologia escolhida como referência (subcapítulos 1.3.4 e 1.3.5).

Então são elencadas as pesquisas que deram origem a escolha dos modelos de desenvolvimento tecnológico do presente trabalho e como foram definidas os ODS e iniciativas utilizadas para desenvolvimento dos resultados (subcapítulo 1.3.6) e, por fim, as formas de definição de categorias de avaliação e organização de resultados (subcapítulo 1.3.7).

### 1.3.1 Diagrama geral das etapas do trabalho

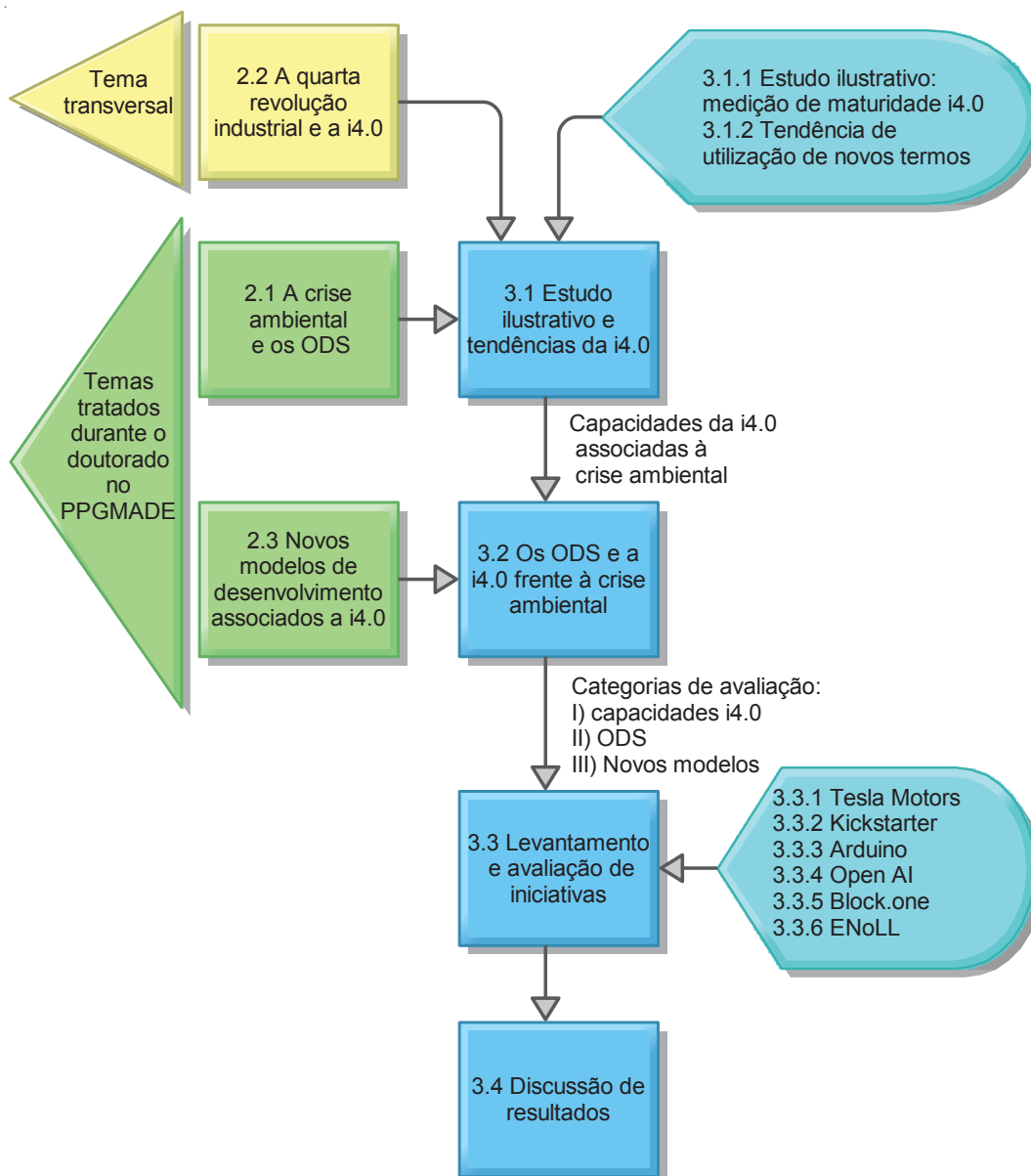
Para possibilitar uma visão mais ampla da metodologia adotada no presente trabalho foi gerada a figura 1, que apresenta:

- Do lado esquerdo, os títulos dos temas do segundo capítulo (revisão bibliográfica), que estão em verde para os temas já tratados durante o percurso do autor no PPGMADE/UFPR e em amarelo para o tema proposta, ainda inédito nos trabalhos do referido programa;
- Em azul escuro, os títulos dos temas do terceiro capítulo (desenvolvimento) e suas relações com os diversos temas do capítulo anterior;
- No lado direito superior, em azul claro, os subcapítulos com os temas que foram necessários para associar o fenômeno da i4.0 com a atual crise ambiental;
- No lado direito inferior, em azul claro, os subcapítulos com as iniciativas que foram escolhidas a partir das capacidades associadas ao fenômeno da i4.0, dos modelos alternativos de desenvolvimento tecnológico trabalhados durante as disciplinas do programa, e os ODS relacionados.

Para que fosse possível associar o fenômeno da i4.0 com a atual crise ambiental (proposta do capítulo 3.1), inicialmente foi necessário desenvolver uma revisão bibliográfica que contextualiza a crise ambiental em aspectos de

desenvolvimento tecnológico, consumo de recursos, vertentes do ambientalismo, culminando na atual proposta dos ODS definidos globalmente, temas tratados de forma recorrente no PPGMADE/UFPR e que se encontram no capítulo 2.1. Na sequência do trabalho (capítulo 2.2, segunda parte da revisão bibliográfica), se apresenta a ideia de uma quarta revolução industrial contemporânea (que pressupõe, por óbvio, três revoluções anteriores), que é a origem do conceito de “indústria 4.0” (i4.0), por sua vez o principal eixo do trabalho e um tema ainda inédito no referido programa de pós graduação.

FIGURA 1 – DIAGRAMA GERAL DAS ETAPAS DO TRABALHO ENTRE A INTRODUÇÃO E AS CONSIDERAÇÕES FINAIS



FONTE: Autor (2020)

Ainda no capítulo 3.1, para que fosse possível avaliar a percepção de capacidades relacionadas ao fenômeno da i4.0 frente à crise ambiental, foi realizado a implementação de uma metodologia para medição de “maturidade i4.0” em uma indústria de tecnologia, de forma a se avaliar a percepção de alguns colaboradores-chave de uma indústria de desenvolvimento tecnológico a respeito das capacidades relacionadas ao fenômeno da i4.0, e também da relação destas capacidades frente à crise ambiental. estes resultados se encontram no subcapítulo 3.1.1. Na sequência deste capítulo, foi realizada uma breve pesquisa sobre as tendências de utilização de termos relacionados ao fenômeno i4.0 (subcapítulo 3.1.2).

No capítulo 2.3 são relacionados e conceituados alguns modelos de desenvolvimento trabalhados durante diversas disciplinas do doutorado do PPGAMDE/UFPR que se mostraram bastante pertinentes ao tema deste trabalho, e que no capítulo 3.2 são relacionados às capacidades da i4.0 e aos ODS. O objetivo desta parte do trabalho é definir as categorias de avaliação que serão utilizadas no capítulo 3.3

No capítulo 3.3, portanto, são levantadas iniciativas relacionadas tanto aos modelos do capítulo 2.3 quanto às categorias de avaliação definidas no capítulo 3.2, de forma a ser possível criar um método comum de avaliação, cujos resultados são apresentados de forma resumida no capítulo final da seção de desenvolvimento (capítulo 3.4). O critério de escolha das iniciativas foi o da iniciativa de maior expressão, em termos mundiais, em cada uma das 6 áreas.

Por fim, após a avaliação sistemática destas iniciativas, são tecidas algumas considerações finais de forma a indicar caminhos tecnológicos aderentes à preservação ambiental e ao desenvolvimento mais sustentável e a indicação de estudos futuros.

### 1.3.2 A área de tecnologia no contexto do PPGMADE/UFPR

Muito embora a concepção de meio ambiente seja bastante ampla, de acordo com a raiz epistêmica do PPGMADE, poderia ser resumida em dois grandes sistemas, os quais se interagem intensamente e eventualmente podem até ter elementos em comum: O sistema “natureza”, que compreende componentes biológicos e físico-químicos que interagem no interior dos domínios da organização biológica, e o sistema “sociedades”, que contém elementos e processos que, ao

serem articulados, fazem parte da organização, reprodução e evolução das relações sociais e fatos culturais. Ambos os sistemas incluem o homem, mas enquanto no primeiro o homem é tomado como organismo vivo, individualmente ou em populações, no segundo sistema o homem é tomado em suas relações de maneira autônoma em relação às suas estruturas biológicas ou físico-químicas. Outro elemento em comum nestes sistemas é a mudança, já que esta é a condição primordial para que permaneçam em “equilíbrio dinâmico”<sup>8</sup>, de forma ajustarem e reconstruírem incessantemente suas relações (sociedade-natureza), tornando-se assim sistemas duráveis. (FLORIANI, 2018 p. 95-95)

E é justamente no contexto das relações entre estes dois grandes sistemas que o presente trabalho se insere: ao contextualizar recentes iniciativas relacionadas aos elementos de uma possível quarta revolução industrial em relação à atual crise ambiental e aos ODS, unem-se temas que, ao serem abordados juntos, acabam ultrapassando as fronteiras disciplinares, de forma a criar um cenário que permite uma visão mais holística da sociedade e da natureza em suas diversas relações, mas que, no entanto, torna também o cenário bem mais complexo, já que aumenta-se o número de elementos a serem interligados e, portanto, cria numerosas relações de interdependência.

As fronteiras disciplinares serviram para construir divisões institucionais – em especial nas universidades –, e transformaram-se em redes de interações privilegiadas, afirmação de identidade intelectual e, por fim, em territórios de poder e de prestígio. Nas atuais abordagens sobre temas de fronteira, tais como da saúde, da tecnologia, da educação e, no nosso caso, do meio ambiente; necessita-se da colaboração deliberada das disciplinas que poderão dedicar-se a estudar fenômenos científicos híbridos ou objetos complexos. (FLORIANI, 2018 p. 96)

As relações entre natureza e sociedade, embora essenciais para a reflexão sobre os rumos dos avanços técnicos, são pouco vistas (ou até mesmo ignoradas) na área acadêmica a partir das atuais abordagens dos cursos ligados à tecnologia, o que torna o PPGMADE/UFPR, ao colocar estas relações como base epistêmica, um ambiente acadêmico bastante distinto de seus pares e, como consequência,

---

<sup>8</sup> Na física, "equilíbrio dinâmico" poderia ser definido como o estado de um corpo no qual ele se encontra em movimento retilíneo uniforme, situação na qual a resultante de todas as forças que atuam sobre este corpo será igual a zero. No contexto deste trabalho trata-se de equilíbrio adaptativo, no sentido de que há necessidade de constantes mudanças para que o equilíbrio se mantenha.

essencial como local de discussão e construção interdisciplinar: O programa, ao escolher esta base epistêmica e efetivamente reunir conhecimentos de todas as áreas, de certa forma se torna “imune” a fronteiras acadêmicas mais rígidas.

Conforme será abordado mais detalhadamente no capítulo 2.1, na seção de revisão de literatura, o presente trabalho procura tratar das relações entre natureza e sociedade utilizando três grandes aspectos<sup>9</sup>: econômico, social e ambiental, sendo os dois primeiros aspectos ligados (evidentemente) à sociedade, e o último associado ao “sistema natureza”. Neste sentido, os fios condutores do trabalho serão dois fenômenos bastante recentes: a “crise ambiental” (abordada no capítulo 2.1) e uma suposta “quarta revolução industrial” (abordada no capítulo 2.2).

### 1.3.3 Avaliação de tendências de uso de termos relacionados à i.40

Posto que o fenômeno da i4.0 seja extremamente recente, afinal o termo foi usado pela primeira vez em 2011 (HIRSCH-KREINSEN et al., 2016 p. 5), se fez necessária uma busca por uma forma de definir seus conceitos de maneira mais objetiva. Para tanto foram utilizados tanto resultados de pesquisas bibliométricas quanto uma pesquisa de tendência de uso destes termos em pesquisas no motor de busca *Google*, disponível gratuitamente por meio da ferramenta *Google Trends*<sup>10</sup>.

Como referência de pesquisas bibliométricas, no intuito de levantar os principais termos associados ao fenômeno da i4.0, foram utilizados dois trabalhos distintos, a saber:

- *A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018*, que avalia as palavras chave de 568 publicações de revistas científicas publicadas de 2011 a 2018 (muito embora a primeira publicação tenha acontecido efetivamente em 2012) de várias bases de dados diferentes, sendo a maioria dos artigos publicados (39%) de autores alemães. (DE FELICE et. al, 2018)

---

<sup>9</sup> Que, por sua vez, forma o chamado “*Triple Bottom Line*” (TBL), que também será abordado no capítulo 2.1

<sup>10</sup> Ferramenta do *Google* que mostra os termos de pesquisa mais populares buscados em um passado recente.



- *Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industrie*, que avalia 757 publicações entre 2011 e 2018 a partir da base Scopus (banco de dados de resumos e citações de artigos para revistas acadêmicas) nas áreas de negócios, administração, contabilidade, ciências da decisão, economia, econometria, finanças e ciências sociais. (MARIANI e BORGHI, 2019)

A partir destes estudos foi possível determinar de maneira sistemática os principais termos relacionados ao fenômeno i4.0, e assim pesquisar sobre metodologias para medição de “maturidade i4.0”. Os termos levantados por meio das duas pesquisas bibliométricas são apresentados no capítulo 2.2.

#### 1.3.4 Metodologias de medição de índice de maturidade i4.0

Para entender especificamente sobre as capacidades associadas a uma indústria 4.0, inicialmente foram pesquisadas metodologias de medição de maturidade. Estas, então, foram comparadas entre si, para que a mais adequada fosse utilizada em uma implementação do método em uma indústria real, de forma a gerar um estudo “imersivo” e entender a percepção de colaboradores-chave de uma indústria de tecnologia a respeito de capacidades relacionadas ao fenômeno da i4.0 e, ainda, destas frente à crise ambiental.

Peter Drucker, um dos pais da administração moderna, é dono do aforismo “o que pode ser medido pode ser melhorado”. Esta máxima suscita a grande importância das atividades de diagnóstico antes das tomadas de ações de melhoria, a fim de se otimizar investimentos e de se manter um controle quantitativo das eventuais evoluções nas capacidades da empresa. Assim, a estratégia inicial foi procurar por aqueles que já tinham, de alguma forma, proposto algum tipo de metodologia de mensuração de “indicadores i4.0”.

Conforme será demonstrado a seguir, a literatura conta com várias propostas de índices de medição de maturidade em relação aos elementos da i4.0. O quadro 1, a título de exemplo, compara sete diferentes metodologias (representadas nas linhas) em 6 diferentes aspectos (representados nas colunas): título do trabalho, meio e ano de publicação, dimensões avaliadas na metodologia, níveis de maturidade definidos, referência bibliográfica e observações. (SCHUH et al., 2017)

(WESTERMANN et al., 2018) (LEYH et al., 2016) (SCHUMACHER et al., 2016)  
(LICHTBLAU et al., 2015) (DELOITTE, 2018) (DE CAROLIS et al., 2017)

QUADRO 1 - COMPARATIVO DE SETE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURIDADE EM RELAÇÃO AOS ELEMENTOS DA I4.0

Título	Meio de publicação, ano	Dimensões avaliadas	Níveis de maturidade	Referência	Observações
Acatech Industrie 4.0 Maturity Index	Acatech, 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Recursos</li> <li>○ Sistemas de informação</li> <li>○ Estrutura organizacional</li> <li>○ Cultura</li> </ul>	1) Informatização 2) Conectividade 3) Visibilidade 4) Transparência 5) Capacidade Preditiva 6) Adaptabilidade	(SCHUH et al., 2017)	As 4 dimensões são subdivididas em 27 capacidades mensuráveis. A metodologia é detalhada e contempla dimensões bem diversas.
Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry	International Design Conference, 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Integração vertical</li> <li>○ Integração horizontal</li> <li>○ Conectividade</li> <li>○ Comunicação em rede</li> <li>○ Segurança</li> </ul>	1) Monitoramento 2) Comunicação e análise 3) Interpretação e serviços 4) Adaptação e otimização 5) Cooperação	(WESTERMAN N et al., 2018)	A metodologia tem é focada em tecnologia da informação, mas contempla explicações claras sobre 3 etapas de aplicação.
SIMMI 4.0 – System Integration Maturity Model Industry 4.0)	IEEE, 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Integração Vertical</li> <li>○ Integração Horizontal</li> <li>○ Desenvolvimento de produtos digitais</li> <li>○ Uso de tecnologias transversais</li> </ul>	1) Digitalização básica 2) Digitalização cruzada (entre departamentos) 3) Digitalização horizontal e vertical 4) Digitalização total 5) Digitalização total e otimizada	(LEYH et al. , 2016)	A metodologia tem é focada em tecnologia da informação e deixa de lado algumas dimensões de análise
A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	ScienceDirect, 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estratégia</li> <li>○ Liderança</li> <li>○ Clientes</li> <li>○ Produtos</li> <li>○ Operações</li> <li>○ Cultura</li> <li>○ Pessoas</li> <li>○ Governança</li> <li>○ Tecnologia</li> </ul>	A metodologia define 5 níveis genéricos, onde o nível 1 é a total falta dos atributos necessários e o nível 5 é o estado da arte em relação aos atributos requeridos.	(SCHUMACHE R et al., 2016)	A metodologia é pouco rígida e traz diversas sugestões de itens a serem avaliados em cada uma das dimensões de análise
Impuls industrie 4.0 Readiness	Mechanical Engineering Industry Association (VDMA), 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Empregados</li> <li>○ Estratégia e organização</li> <li>○ Fábrica inteligente</li> <li>○ Operações inteligentes</li> <li>○ Serviços baseados em dados</li> </ul>	0) Outsider 1) Iniciante 2) Intermediário 3) Experiente 4) Expert 5) Top performer	(LICHTBLAU et al., 2015)	A metodologia é bem detalhada, traz resultados de estudos de caso e divide as 6 dimensões em 18 sub-dimensões de análise
Deloitte Digital Maturity Model	Deloitte, 2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cliente</li> <li>○ Estratégia</li> <li>○ Tecnologia</li> <li>○ Operações</li> <li>○ Organização e cultura</li> </ul>	Não há maiores detalhes sobre a escala de medição utilizada	(DELOITTE, 2018)	A metodologia parece extremamente detalhada, no entanto só é apresentada genericamente, pois é associada a serviços da empresa
DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY model)	International Conference on Advances in Production Management Systems, 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Processos</li> <li>○ Controle e monitoramento</li> <li>○ Tecnologia</li> <li>○ Organização</li> </ul>	1) Inicial 2) Gerenciado 3) Definido 4) Integrado e interoperável 5) Orientado digitalmente	(DE CAROLIS et al., 2017)	A metodologia não detalha as etapas de aplicação, no entanto detalha bem como são avaliadas as 4 dimensões: cada uma delas é avaliada em relação a 4 diferentes processos, por sua vez subdivididos em 18 sub-processos

FONTE: Autor (2019)

Ainda no contexto da comparação de modelos de maturidade i4.0, destaca-se o trabalho *"Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice?"* (FELCH et al., 2019), que levanta vinte modelos diferentes para medição do “índice de maturidade i4.0”, contemplando dez modelos científicos e dez modelos desenvolvidos por consultorias de gestão. O estudo avalia a prevalência destes modelos junto ao mercado e é recomendado para se entender melhor as características comuns e as diferenças entre as diversas opções disponíveis de modelos de maturidade i4.0.

Em relação aos modelos científicos, no referido estudo (FELCH et al., 2019), foram avaliados dez modelos cientificamente relevantes, publicados de dezembro de 2017 a janeiro de 2018 em cinco bibliotecas digitais: *EBSCOhost*, *Emerald Insight*, *ScienceDirect*, *Wiley*, e *Google Scholar*. Foram levantados apenas modelos que contemplavam estágios de maturidade e diferentes dimensões de análise. (FELCH et al., 2019 p.5167) Quanto aos modelos de consultorias de gestão, o estudo avaliou modelos das dez principais empresas de consultoria do mundo, que juntas representam 56% do mercado global: *PricewaterhouseCoopers (PwC)*, *Deloitte*, *Ernst & Young (EY)*, *KPMG*, *McKinsey & Company*, *Boston Consulting Group (BCG)*, *Accenture*, *IBM*, *Microsoft*, e *Booz Allen Hamilton*. (FELCH et al., 2019 p.5168)

Cabe ressaltar que a maioria das empresas de consultoria trata seus modelos de maturidade como propriedade intelectual, e não disponibilizam a versão completa (FELCH et al., 2019 p.5169). Já os modelos científicos demonstraram tratar os conceitos com maior rigor acadêmico, no entanto deixaram a desejar nas explicações relativas às etapas operacionais de execução das atividades.

Assim, levantadas as várias opções de metodologias de índices de “maturidade i4.0”, resta a pergunta: Qual seria a opção mais razoável para implementação em uma indústria? Para definir a resposta, foram utilizados os seguintes critérios, avaliados pelo autor de maneira subjetiva: o devido rigor científico do trabalho, principalmente em relação ao método proposto e às referências utilizadas; e o nível de detalhamento dos passos sugeridos pela metodologia, principalmente no aspecto operacional, de forma a ser possível conduzir o projeto com recursos reduzidos e da forma mais rápida possível.

Ressalta-se que a ideia de se aplicar um modelo de medição em uma indústria teve escopo ilustrativo em relação ao trabalho, de forma a revelar aspectos de ordem prática em relação aos colaboradores de uma indústria real.

### 1.3.5 Metodologia *Acatech*

O modelo da *Acatech* (SCHUH et al., 2017) demonstrou ter tanto o rigor acadêmico esperado para este tipo de atividade quanto o detalhamento necessário das atividades operacionais, de forma a facilitar a condução dos trabalhos com uma equipe operacional reduzida, e consequentemente reduzir os prazos e custos envolvidos. Assim, o modelo foi escolhido como base metodológica para o presente trabalho e será explicado pormenorizadamente na sequência do trabalho.

O pressuposto básico da metodologia utilizada é de que a avaliação dos processos atuais e a subsequente identificação de áreas que requerem ação pode fornecer às empresas orientações específicas e práticas para moldar sua transformação digital. (SCHUH et al., 2017 p.13) Os resultados da pesquisa (medições das 27 capacidades em todas as áreas envolvidas) devem, portanto, servir como um suprimento de informações para uma etapa subsequente de reuniões junto às gerências das áreas avaliadas, para que então se definam ações e projetos para melhoria das capacidades que apresentaram maior deficiência. Estas propostas, por sua vez, têm a pretensão de contribuir para o roteiro geral de desenvolvimento de projetos de transformação digital (leia-se *Roadmap*) da empresa.

A academia alemã de ciência e engenharia (*Acatech*) é uma instituição fundada pelo governo alemão, independente e sem fins lucrativos que representa os interesses das comunidades científicas e tecnológicas alemãs no país e no exterior (ACATECH, 2019). Em abril de 2017 a instituição publicou o estudo "*Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY)*" (SCHUH et al., 2017), que consta na lista de documentos publicados no *website* da iniciativa "*Plattform Industrie 4.0*", a plataforma oficial do governo alemão, que visa desenvolver recomendações conjuntas de padrões construtivos, padrões de comunicações, etc. de forma a servir como base para uma estrutura de i4.0 sólida e confiável, e também disponível para todos os interessados. (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2019)

Segundo o modelo de índice de maturidade desenvolvido pela *Acatech* (SCHUH et al., 2017 p.10), o principal potencial econômico da i4.0 reside na capacidade de agregar valor ao acelerar os processos de tomada de decisão e adaptação das empresas.

Estas necessidades de adaptação ou de tomada de decisão surgem sob certos eventos, que podem ter natureza de curto prazo, como por exemplo uma quebra da linha de produção, ou de médio a longo prazo, como por exemplo uma alteração nos requisitos do produto e suas modificações associadas a área de *design*, ao processo de fabricação e a processos relacionados, como compras, qualidade e serviços. (SCHUH et al., 2017 p.11) A metodologia, portanto, está alicerçada nas seguintes proposições:

- a) Toda vez que uma empresa se vê obrigada a tomar alguma medida (como adequações de processos ou tomadas de decisão) em relação a algum evento ocorrido, naturalmente haverá tempos de latência<sup>11</sup> entre as diversas etapas necessárias até que a ação tenha efeito;
- b) Estes tempos de latência são inversamente proporcionais aos benefícios gerados pelas adaptações provenientes das ações tomadas;
- c) Elementos tecnológicos associados à i4.0 são capazes de acrescentar certas capacidades à empresa, e estas capacidades podem reduzir os tempos de latência (e, portanto, aumentar os benefícios gerados);
- d) Estas capacidades são mensuráveis e podem ser estrategicamente desenvolvidas através de um roteiro de desenvolvimento de projetos de melhoria (*roadmap*) com grande precisão às necessidades da empresa.

Na figura 2 (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.11) se apresenta um gráfico que ilustra o nível dos benefícios gerados pela adaptação (eixo vertical) em função dos tempos de latência (eixo horizontal). Além do momento no qual surge o evento, são definidos outros 4 momentos distintos (que resultarão nos círculos azuis da

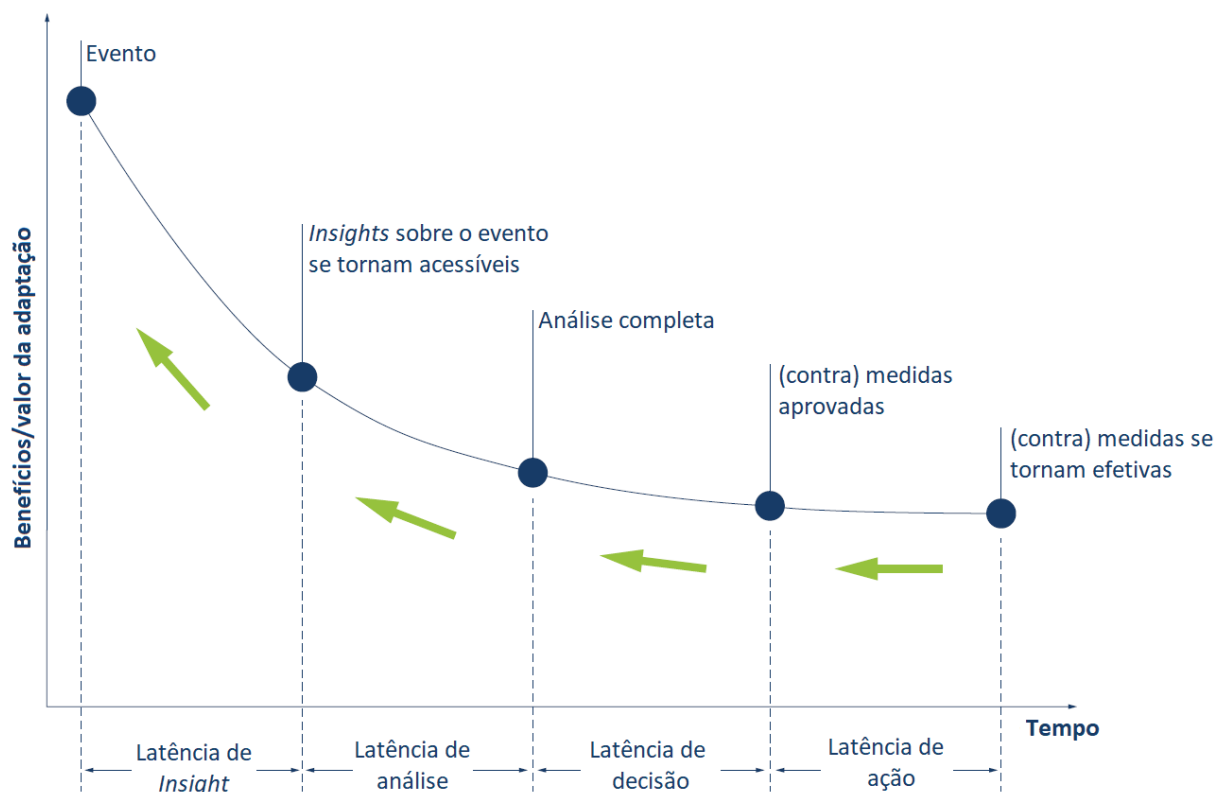
---

<sup>11</sup> Diferença de tempo entre o início de um evento e o momento em que os efeitos deste evento se tornam perceptíveis.

Figura 5), entre os quais se situam 4 diferentes tipos de latência: latência de *insight*, latência de análise, latência de decisão e latência de ação. As flechas verdes representam a necessidade de se reduzir estes tempos de latência para se aumentar os benefícios da adaptação.

Na figura 3 (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.12) são elencados, ao lado direito, elementos tecnológicos cujos grupos são representados pelas letras A, B, C e D. Ao lado esquerdo da figura, estes grupos aparecem associados à cada uma das diferentes etapas de latência (descritas na Figura 2). Ainda na figura 3, a flecha verde horizontal representa a redução dos tempos de latência, que conseqüentemente gera o aumento dos benefícios da adaptação, representado pela flecha verde vertical.

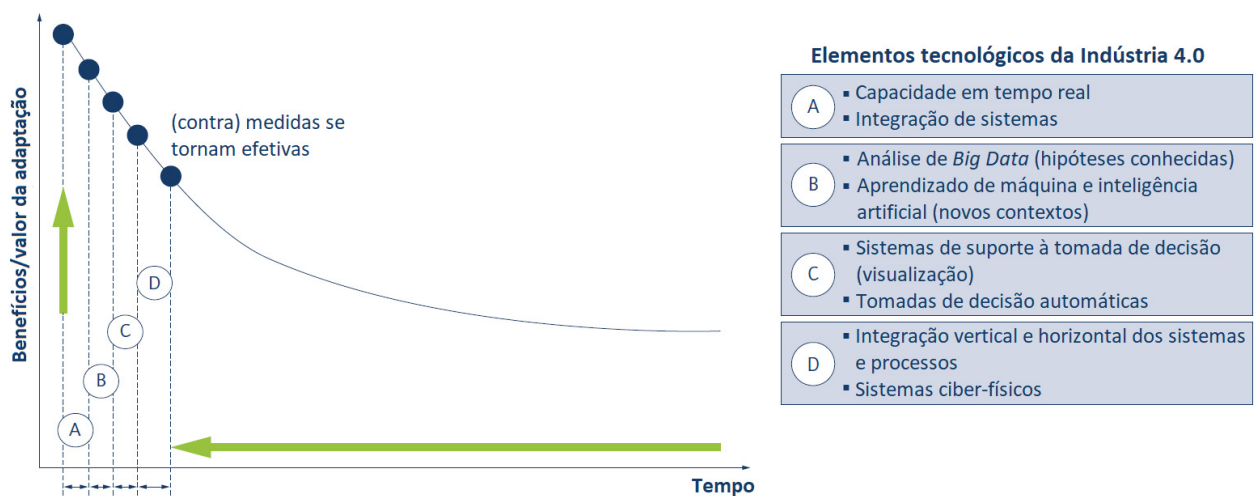
FIGURA 2 – PROCESSOS DE ADAPTAÇÃO CORPORATIVA PARA REDUÇÃO DE TEMPOS DE LATÊNCIA



FONTE: Tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.11

A metodologia propõe, portanto, que se obtenha maior agilidade nos diversos processos decisórios e adaptativos da empresa a partir de elementos tecnológicos específicos (que serão associados a diferentes “capacidades” na sequência do trabalho), e que podem reduzir os diferentes tipos de latência levantados, com o objetivo final de se gerar o maior benefício/valor possível em cada processo adaptativo ou tomada de decisão realizada pela empresa.

FIGURA 3 – REDUÇÃO DOS TEMPOS DE LATÊNCIA ATRAVÉS DE ELEMENTOS TECNOLÓGICOS ASSOCIADOS A CADA ETAPA DO PROCESSO DECISÓRIO.



FONTE: Tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.11

#### 1.3.5.1 Áreas, eixos e capacidades i4.0 medidas

O estudo da *Acatech* define 4 áreas principais, subdivididas em 2 eixos por área, nos quais estão distribuídas as 27 capacidades mensuráveis definidas pela metodologia, conforme apresentado no quadro 2. A seguir serão apresentadas considerações gerais sobre cada uma das 4 grandes áreas definidas pela metodologia adotada, e na sequência do trabalho será apresentada a escala com a estas 27 capacidades serão mensuradas.

##### a) Recursos

Referem-se a recursos físicos tangíveis, que incluem a força de trabalho de uma empresa (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final. Os "recursos" devem possuir as capacidades necessárias



para trabalhar baseados em informação e os funcionários devem, portanto, ser capazes de identificar fontes de dados e possíveis técnicas de processamento. (SCHUH et al., 2017 p.20) Pessoal, máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e produtos devem ser atualizados com componentes tecnológicos relevantes à transformação digital da empresa. (SCHUH et al., 2017 p.21)

QUADRO 2 – CAPACIDADES ASSOCIADAS À I4.0 DIVIDIDAS EM 4 ÁREAS

1. Recursos	
1.1 Capacidade digital	1.1.1. Prover competências digitais
	1.1.2. Aquisição automatizada de dados através de sensores e atuadores
	1.1.3. (pre)processamento descentralizado de dados de sensores
1.2 Comunicação estruturada	1.2.1. Comunicação eficiente
	1.2.2. Projeto de interface baseado em tarefas
2. Sistemas de informação	
2.1 Processamento de informação	2.1.1. Análise de dados
	2.1.2. Entrega de dados contextualizados
	2.1.3. Interfaces de usuário específicas por tarefa
	2.1.4. Resiliência da estrutura de TI
2.2 Integração	2.2.1. Integração vertical e horizontal
	2.2.2. Gestão de dados
	2.2.3. Interface de dados padrão
	2.2.4. Segurança em TI
3. Estrutura Organizacional	
3.1 Organização orgânica interna	3.1.1. Comunidades flexíveis
	3.1.2. Gerenciamento de direitos de decisão
	3.1.3. Sistemas de metas motivacionais
	3.1.4. Gerenciamento ágil
3.2 Colaboração dinâmica em redes de valor	3.2.1. Foco nos benefícios do cliente
	3.2.2. Cooperação dentro da rede
4. Cultura	
4.1 Disposição para mudar	4.1.1. Reconhecer o valor dos erros
	4.1.2. Abertura à inovação
	4.1.3. Aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados
	4.1.4. Desenvolvimento profissional contínuo
	4.1.5. Moldando a mudança
4.2 Colaboração social	4.2.1. Estilo de liderança democrática
	4.2.2. Comunicação aberta
	4.2.3. Confiança nos processos e sistemas de informação

FONTE: Adaptado de SCHUH et al., 2017

A crescente complexidade implica que os sistemas centralizados estão se tornando mais difíceis de gerenciar, e consequentemente as malhas de controle descentralizadas, que já foram usadas para otimizar muitos processos técnicos,



também devem ser estabelecidas no nível dos processos de negócio. Uma visão global clara da empresa só surge quando diferentes partes da informação são combinadas, e para se garantir que a informação seja de qualidade suficiente os dados devem ser trocados e gerados da forma mais estruturada possível. Isso requer interfaces apropriadas, bem como um consenso sobre o próprio propósito da comunicação. (SCHUH et al., 2017 p.22)

#### b) Sistemas de informação

O progresso alcançado em relação à digitalização das empresas significa que está ficando cada vez mais fácil para as indústrias tomarem decisões baseadas em dados em tempo real com o auxílio de modelos digitais. No entanto, muitas empresas ainda não estão conseguindo usar seus dados e informações para apoiar tomadas de decisão, principalmente por dois motivos: (SCHUH et al., 2017 p. 24-25)

Os dados capturados não são processados em informações e, como não são entregues de forma adequada, os funcionários não podem usá-los para dar suporte ao seu trabalho. Para serem utilizáveis para a tomada de decisões, além de serem analisados e processados em informações, os dados também devem ser entregues de uma maneira amigável ao usuário.

Os mesmos dados, centralizados, não são usados nas diferentes partes da empresa. Os sistemas devem, portanto, ser integrados para permitir o uso de dados comuns em toda a cadeia de valor. Deve-se, portanto, procurar a integração dos sistemas para melhorar o uso de dados e aumentar a agilidade. A criação de uma plataforma que conecte os diferentes sistemas de informação requer interfaces padrão, flexibilidade, abertura, segurança de TI abrangente e qualidade de dados apropriada.

Dentro do contexto de um ecossistema baseado na Internet das Coisas (*IoT*) com sistemas de alta integração vertical (relacionada com a conexão entre os sistemas internos da empresa, como ERP, MES, PLM, SCADA, CLP, etc.) e horizontal (relacionada com a conexão entre a fábrica e toda cadeia de valor externa, como clientes, parceiros, fornecedores, etc.), é salutar uma reflexão sobre a privacidade e proteção de dados, assunto frequentemente levantado por diversos autores. (JABBOUR et al., 2018 p.9) (GATES e BREMICKER, 2017 p.5) (BRASIL, 2017a p.40) (HERMANN et al., 2016 p.3932)

Afinal, a crescente integração de sistemas de informação é acompanhada pelo risco de ataques criminosos, e o dano potencial que esses ataques podem causar aumenta proporcionalmente ao grau de integração. A segurança de TI deve, portanto, englobar diferentes estratégias para identificar e implementar medidas de segurança. (SCHUH et al., 2017 p. 27) Entre as tecnologias associadas à cibersegurança, se podem destacar o uso de *framework* padrão, *firewall* distribuído, *blockchain* e criptografia quântica. (BRASIL, 2017b p.33)

#### c) Estrutura organizacional

Refere-se à organização interna de uma empresa (estrutura e processos operacionais) e sua posição dentro da rede de valor. Em contraste com a área de “cultura”, a “estrutura organizacional” estabelece regras obrigatórias que organizam a colaboração dentro e fora da empresa, enquanto “Cultura” abrange o sistema de valores dentro da empresa e, portanto, descreve os fatores flexíveis da colaboração. (SCHUH et al., 2017 p. 28)

Recomenda-se a organização orgânica, que é a antítese da organização mecanicista. Na organização orgânica, os funcionários têm menos restrições e um alto grau de responsabilidade individual. Essa forma de organização é, portanto, particularmente adequada para organizações com forças de trabalho altamente qualificadas que trabalham em um ambiente dinâmico. (SCHUH et al., 2017 p. 28)

A troca automatizada e contínua de informações entre diferentes empresas permite que elas cooperem de forma mais dinâmica e proporcionem maior transparência em relação ao mercado e também ajuda a reduzir barreiras para uma maior flexibilidade, como processos manuais para consultas, pedidos e processamento de pedidos. A visibilidade operacional pode ser ampliada para incluir o status de produção e o desempenho de qualidade de um fornecedor usando tecnologias de IoT para uma troca mais eficiente de informações, bens e serviços. (SCHUH et al., 2017 p.30-31)

#### d) Cultura

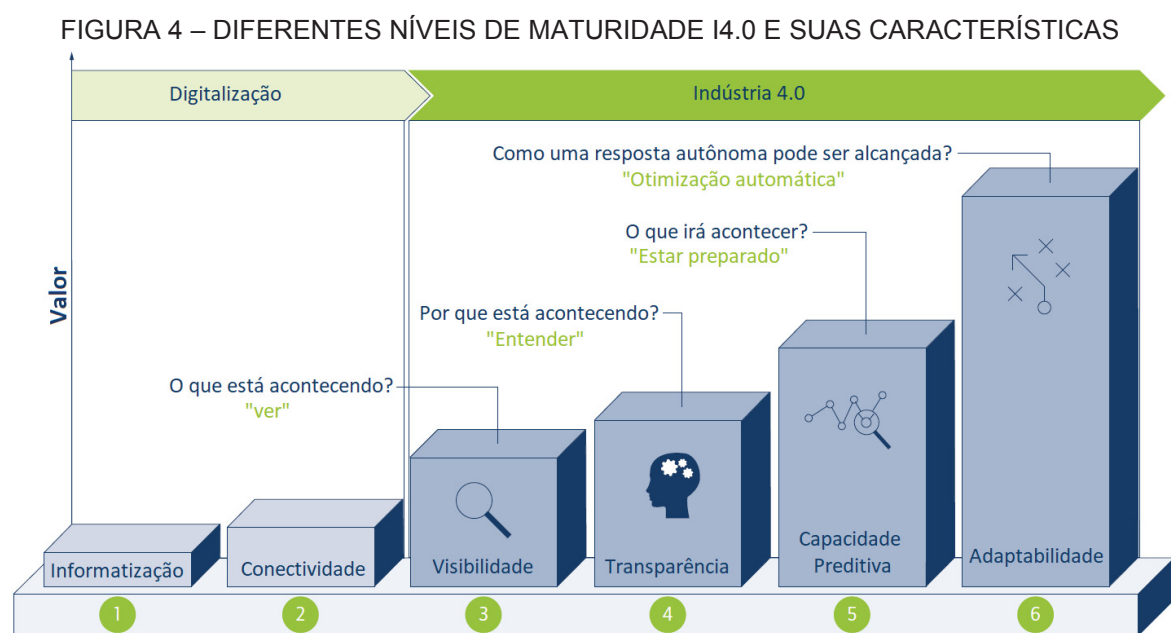
As empresas não conseguirão atingir a agilidade desejada se simplesmente introduzirem tecnologias digitais sem abordar também a cultura corporativa

associada, e devem começar decidindo como querem fazer as coisas no futuro e quais habilidades seus funcionários precisarão para tanto, e só depois identificar e introduzir as tecnologias necessárias para apoiar a maneira como se deseja trabalhar. (SCHUH et al., 2017 p.32)

Antes que os sistemas de assistência digital possam começar a agregar valor, a empresa deve ter uma cultura na qual os funcionários confiem nesses sistemas e estejam preparados para aceitar suas sugestões. A cultura engloba a vontade de mudança, ou seja, a disposição para revisar e adaptar continuamente seu próprio comportamento em resposta ao ambiente; e a colaboração social, para acelerar o compartilhamento de conhecimento dentro da empresa. (SCHUH et al., 2017 p.32)

#### 1.3.5.2 Níveis de maturidade (escala)

A metodologia escolhida define 6 diferentes estágios de maturidade para as capacidades i40, sendo que os primeiros níveis (níveis 1 e 2) formam uma base de digitalização para que então se possa implantar os níveis 3, 4, 5 e 6, estes últimos diretamente associados à i.40. A Figura 4 (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.32) ilustra esta escala de medição, traz os elementos principais dos 4 últimos níveis e enfatiza o aumento do valor agregado a cada “subida de degrau”.



FONTE: Tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.16

A seguir é apresentada uma breve explicação sobre cada um dos níveis propostos pelo método. Na implementação realizada no contexto deste trabalho, ainda foi acrescentado um nível “zero” (pré-informatização), que é definido quando ainda não foi realizada a informatização no processo avaliado, caso fosse necessário.

1. *Informatização*: O primeiro estágio no caminho do desenvolvimento é a informatização, pois fornece a base para a digitalização. Neste estágio, diferentes tecnologias de informação são usadas isoladamente umas das outras dentro da empresa. (SCHUH et al., 2017 p.15)
2. *Conectividade*: No estágio de conectividade, a implantação isolada de informações é substituída por componentes conectados. Os aplicativos de negócios amplamente usados estão todos conectados entre si e refletem os principais processos empresariais da empresa. (SCHUH et al., 2017 p.16)
3. *Visibilidade*: Neste estágio sensores permitem que os processos sejam capturados do começo ao fim com um grande número de pontos de dados, gerando uma "sombra digital"<sup>12</sup>. A sombra digital pode ajudar a mostrar o que está acontecendo na empresa a qualquer momento, para que as decisões de gerenciamento possam ser baseadas em dados reais. É, portanto, um bloco de construção essencial para os estágios posteriores. (SCHUH et al., 2017 p.16-17)
4. *Transparência*: A próxima etapa consiste em entender por que algo está acontecendo e usar esse entendimento para produzir conhecimento por meio de análises de causa a partir da "sombra digital" gerada na etapa anterior. (SCHUH et al., 2017 p.17)
5. *Capacidade Preditiva*: Nesta etapa a empresa é capaz de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis. Isso envolve projetar a “sombra digital” no futuro para representar uma variedade de cenários que

---

<sup>12</sup> Também chamada “digital twin”

podem então ser avaliados em termos da probabilidade de ocorrerem. (SCHUH et al., 2017 p.18)

6. *Adaptabilidade*: A adaptação contínua permite que uma empresa delegue determinadas decisões aos sistemas de tecnologia da informação de forma automática. O objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados da sombra digital para tomar decisões que tenham os melhores resultados possíveis no menor tempo possível e para implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana. (SCHUH et al., 2017 p.18)

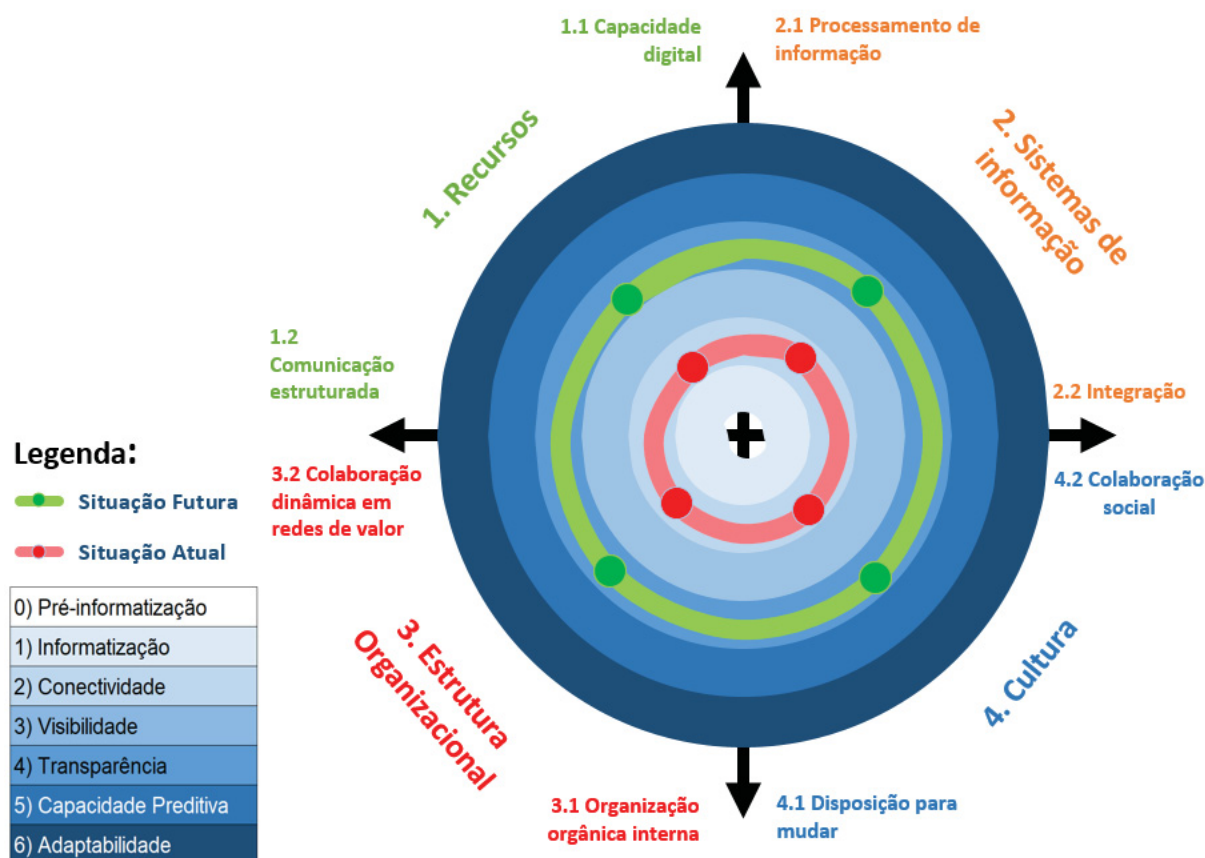
A Figura 5 exemplifica o gráfico estilo “radar” descrito na metodologia *Acatech*, que utiliza círculos concêntricos para representar os diferentes níveis de maturidade, que variam de 1 a 6. Conforme os gráficos se aproximam da borda (do azul claro para o azul escuro), maior será o grau de maturidade em relação à Indústria 4.0. Pode-se representar no mesmo gráfico tanto os resultados das medições realizadas (situação atual, representada pelo círculo vermelho interno) quanto às metas (situação futura, representada pelo círculo verde, externo ao vermelho).

Ainda na Figura 5, o espaço entre o círculo vermelho e o círculo verde representa o deslocamento dos pontos da situação atual para a situação futura, onde cada um dos pontos é determinado através de coordenadas definidas a partir das médias das capacidades associadas a cada um dos 2 eixos de cada grande área<sup>13</sup>. Por exemplo, na área “1. Recursos” as coordenadas são definidas a partir da média das capacidades do eixo “1.1 Capacidade digital” (coordenada vertical) e da média das capacidades do eixo “1.2 Comunicação estruturada” (coordenada horizontal). Para facilitar o entendimento, a figura 5 utiliza as mesmas cores usadas no Quadro 2 para ilustrar as grandes áreas e seus respectivos eixos.

---

<sup>13</sup> O gráfico foi gerado no MS- Excel. Para que os pontos ficassem sempre dentro dos círculos concêntricos, as coordenadas retangulares (notas médias dos dois eixos avaliados) foram previamente transformadas em coordenadas polares, o comprimento do raio foi redefinido a partir da média ponderada das notas de cada um dos eixos e por fim as coordenadas polares (já com o raio modificado) foram novamente transformadas em coordenadas retangulares para plotagem dos pontos.

FIGURA 5 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE RESULTADOS DE MEDIÇÃO E DE METAS ESTRATÉGICAS (“SITUAÇÃO ATUAL” E “SITUAÇÃO FUTURA”)



FONTE: Traduzido e adaptado livremente de SCHUH et al., 2017 p.16

O critério de amostragem adotado para a escolha dos participantes da pesquisa foi o de “escolha racional”, que consiste em definir uma amostra de participantes que comunguem de algum traço característico pertinente à pesquisa. No caso deste trabalho, a característica foi a escolha de funcionários com poder de decisão frente à operação da empresa, ou seja, diretores, gerentes e coordenadores. A amostragem foi de 6 colaboradores chave de diferentes áreas da empresa, prejudicada por questões de agenda de alguns funcionários, no entanto foi suficiente para revelar alguns padrões, conforme será evidenciado a seguir.

Ressalta-se que, por questões de sigilo de informações, os resultados quantitativos do estudo do caso não serão informados e, portanto, a figura 5 representa apenas leiaute do modelo sugerido. Informações sobre as etapas seguidas e os resultados alcançados constam na etapa de desenvolvimento do presente trabalho, mais especificamente no capítulo 3.1.1.

### 1.3.6 Escolha dos modelos de desenvolvimento tecnológico, iniciativas e ODS

O modelos de desenvolvimento definidos no capítulo 2.3 foram definidos a partir de temas trabalhados no PPGMADE pelo autor durante seu percurso no programa e em atividades associadas, por meio de disciplinas cursadas, pesquisas realizadas como bolsista e trabalhos publicados.

O tema de energia renováveis e geração distribuída, que consta no subcapítulo 2.3.1, foi tratado durante a disciplina de "Energia, Ambiente e Sociedade", ocasião na qual o tema da energia foi exaustivamente discutido, incluindo o tema de novos sistemas de geração distribuída, avaliados como uma alternativa.

Do ponto de vista geopolítico, foram estudados autores que avaliam que estas novas modalidades de geração, vistas como uma forma de “democratização” da geração de energia pela figura do “prosumidor”<sup>14</sup>, poderão causar a diminuição da importância estratégica de ações orientadas ao controle dos locais geográficos onde se encontram os recursos energéticos, o que poderia reduzir conflitos, militares, diplomáticos, fronteiriços, etc. (O’SULLIVAN et al., 2017)(SCHOLTEN e BOSMAN, 2016) Ressalta-se ainda a ideia de Criekmans (2011), de que os projetos na área renovável em geração distribuída são muito mais adaptáveis a diferentes escalas e dimensões quando comparados com projetos de energia convencional, e portanto, com a devida ação governamental, poderiam se mostrar inclusive como elementos de empoderamento social.

O tema dos financiamentos coletivos (*CrowdFunding*), apresentado no subcapítulo 2.3.2, foi tratado durante as disciplinas de economia e sociologia, durante o módulo I: "Fundamentos das Ciências Humanas e Sociais", onde esta modalidade foi apresentada como uma alternativa ao modelo financeiro hegemônico na atualidade a partir de evidências na literatura, que indicam que esta modalidade tem grande potencial para “socializar” os modelos financeiros da atualidade. (TERRY; SCHWARTZ; SUN, 2013 p. 10).

As plataformas de *hardware* livre, tratadas no subcapítulo 2.3.3, já foram tema de um artigo intitulado "Cultura do Código Livre e direito de acesso a uma

---

<sup>14</sup> Um neologismo (com origem etimológica do inglês *prosumer*) que significa a junção de produtor e consumidor, ou seja, aquele que gera e consome simultaneamente.



tecnociência alternativa", desenvolvido pelo autor junto com o professor José Edmilson Souza-Lima e o advogado Felipe Christoforo Mongruel durante o período em que o autor cursou o mestrado no PPGMADE/UFPR. O artigo indaga acerca das possibilidades dos sistemas de hardware livre como emergências de uma tecnociência alternativa. (BREHM et. al, 2014)

Ainda sobre o tema, mais recentemente o autor foi agraciado com o “Prêmio Pinhão de Ouro 2019” na modalidade “artigo teórico” com um trabalho voltado à aplicação de plataformas de *hardware* livre na indústria, intitulado "O controlador lógico programável (CLP) sob licença de *hardware* livre: O futuro dos projetos de automação industrial?"<sup>15</sup> Conforme os trabalhos desenvolvidos indicam, estes sistemas têm um grande potencial como alternativa na área de desenvolvimento tecnológico.

O tema da “inteligência artificial” (IA), tratado no subcapítulo 2.3.4, também foi abordado durante a disciplina de "Energia, Ambiente e sociedade", sob uma visão geopolítica e do seu potencial de desestruturação social por meio da supressão de certas atividades humanas por sistemas baseados em inteligência artificial. A necessidade de uma abordagem do tema da inteligência artificial sob a ótica de conflitos ambientais também foi mencionada ao final do trabalho coletivo realizado durante a "Oficina de Construção de Pesquisa Interdisciplinar em Meio Ambiente e Desenvolvimento" da Turma XII da linha de Pesquisa "Energia", disciplina final do PPGMADE/UFPR, haja vista sua importância no aspecto social quando se fala em sustentabilidade.

O *Blockchain*, tratado no sub-capítulo 2.3.5, é um sistema contábil eletrônico descentralizado que registra qualquer transação de valor, seja dinheiro, bens, propriedade, trabalho ou votos. (HERWEIJER et al., 2018 p. 13) O tema foi tratado relatório "*Building block (chain)s for a better planet*", que identifica um enorme potencial da tecnologia para criar sistemas com capacidade de fornecer soluções transformadoras para os desafios ambientais, com potencial de interromper ou otimizar substancialmente os sistemas que são críticos para enfrentar muitos destes desafios. (HERWEIJER et al., 2018 p. 6) Como tem estreita relação com projetos de

---

<sup>15</sup> O artigo ainda será publicado na revista do PMI-PR (*Project Management Institute – Paraná*), mas já se encontra disponível no endereço: <https://cigpl.pmi-pr.org.br/wp-content/uploads/O-controlador-logico-programavel-CLP-sob-licenca-de-hardware-livre-O-futuro-dos-projetos-de-automacao-industrial.pdf>



financiamentos coletivos, os temas foram tratados juntos durante o percurso do autor no PPGMADE/UFPR durante as disciplinas de economia e sociologia.

O tema dos *Living Labs* (LL) foi definido a partir do trabalho do autor como bolsista de pesquisa junto ao Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar) durante seu período como doutorando do PPGMADE/UFPR, período no qual o autor teve oportunidade de participar da pesquisa e concepção inicial do projeto de implementação de *Living Labs*, atualmente em funcionamento tanto na área de desenvolvimento de soluções de geração e utilização de energia (no *campus* Tecpar da cidade industrial de Curitiba – CIC) quanto na área de tecnologia agrícola (no *campus* Tecpar da cidade de Araucária). O tema foi englobado no presente trabalho por apresentar grande aderência ao conceito de pensamento interdisciplinar e à projetos sociais, conforme é detalhado no subcapítulo 2.3.6.

Assim, a partir da discussão iniciada nos capítulos 2.1 e 2.2 e das principais características dos modelos apresentados no capítulo 2.3, foi possível elencar os ODS que mais se adequam aos temas para serem avaliados no desenvolvimento do trabalho, que são descritos no capítulo 3.2.

A fim de aproveitar a oportunidade de imersão em uma indústria de desenvolvimento tecnológico na área de eletrônico realizada por meio da implementação da metodologia *Acatech* (explanada no capítulo 1.3.5 e cujos resultados se encontram no subcapítulo 3.1.1), a título de ilustrar como exemplo a visão dos entrevistados em relação aos conceitos de i4.0 e meio ambiente, foram acrescentadas mais duas questões ao final do questionário contemplado pela metodologia *Acatech*, no intuito de se ter uma percepção dos colaboradores participantes sobre cinco ODS (números 8, 9, 10, 12 e 13) em relação a dois fatores:

1. A pertinência destes ODS em relação desenvolvimento sustentável;
2. A (eventual) relação das capacidades da i4.0 para atingir os ODS.

As respostas a estas perguntas estão disponíveis no capítulo 3.2. Ressalta-se que duas perguntas foram realizadas para cada um dos cinco ODS. A primeira pergunta foi: Qual é a sua percepção quanto à importância do ODS para o desenvolvimento sustentável no mundo? Para esta pergunta as opções de resposta (objetiva) foram:

- Este objetivo é urgente e vital para o desenvolvimento sustentável da humanidade;
- É um objetivo importante, no entanto há temas mais pertinentes que mereceriam prioridade;
- Não há evidência suficiente de que este objetivo possa contribuir para o desenvolvimento sustentável da humanidade;
- Há evidências suficientes para afirmar que este objetivo não contribuirá para o desenvolvimento sustentável da humanidade.

A segunda pergunta foi: Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do ODS com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? E para esta pergunta as opções de resposta (objetiva) foram:

- Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm grande potencial de influenciar positivamente neste tema;
- Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm certo potencial de influenciar positivamente neste tema;
- Os avanços da manufatura avançada (i4.0) não influenciarão neste tema;
- Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm certo potencial de influenciar negativamente neste tema;
- Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm grande potencial de influenciar negativamente neste tema.

Ressalta-se que estas perguntas não contempladas na metodologia *Acatech* foram realizadas apenas a título de exemplo ilustrativo, apenas no intuito de mostrar um pouco da visão dos entrevistados sobre os temas da pesquisa e portanto não estão vinculadas aos demais métodos usados no decorrer deste trabalho.

A partir das ODS, foi possível elencar iniciativas relacionadas concomitantemente às ODS e às capacidades associadas à i4.0, para que na sequência do trabalho estas sejam avaliadas sob a luz do desenvolvimento sustentável. A avaliação seguirá a forma de uma matriz, cuja estrutura é demonstrada no próximo capítulo.

Foram elencadas seis iniciativas, cada uma associada a um dos seis modelos de desenvolvimento tecnológicos levantados anteriormente, prezando por iniciativas que fossem tanto relevantes ao tema do meio ambiente quanto relevantes ao fomento de alternativas ao modelo econômico capitalista hegemônico. Como critério de escolha foi definido a avaliação de iniciativas de maior protagonismo, em termos mundiais, para cada uma das áreas avaliadas.

Assim, no subcapítulo 3.3.1, será avaliada a Tesla Motors, a maior empresa simultaneamente na área de veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia; no subcapítulo 3.3.2, será apresentada a empresa Kickstarter, maior plataforma de *crowdfunding* do mundo na modalidade *reward*; no subcapítulo 3.3.3 será abordado o fenômeno da plataforma de prototipagem Arduino, a maior iniciativa de *hardware* livre do mundo; no capítulo 3.3.4 será abordada a iniciativa Open AI, maior iniciativa já vista para democratizar sistemas de inteligência artificial (IA), de orçamento bilionário; no subcapítulo 3.3.5 será apresentada a startup bilionária Block.one, que criou uma criptomoeda chamada EOS, captação de recursos recorde por meio de ICO (*Initial Coin Offering*); e, por fim, no subcapítulo 3.3.6 será abordada a EnoLL (*European Network of Living Labs*), maior iniciativa de fomento de Living Labs (LL) atualmente.

Assim, a partir da avaliação destas iniciativas de forma sistemática em relação às categorias de avaliação associadas às capacidades i4.0, aos ODS escolhidos e respectivas alternativas, foi possível avaliar o potencial destas iniciativas frente à crise ambiental e levantar características em comum dos modelos de desenvolvimento tecnológico elencados. Estas características serão usadas, ao final do trabalho, para descrever um “perfil em comum” de projetos de desenvolvimento tecnológicos alternativos e mais sustentáveis.

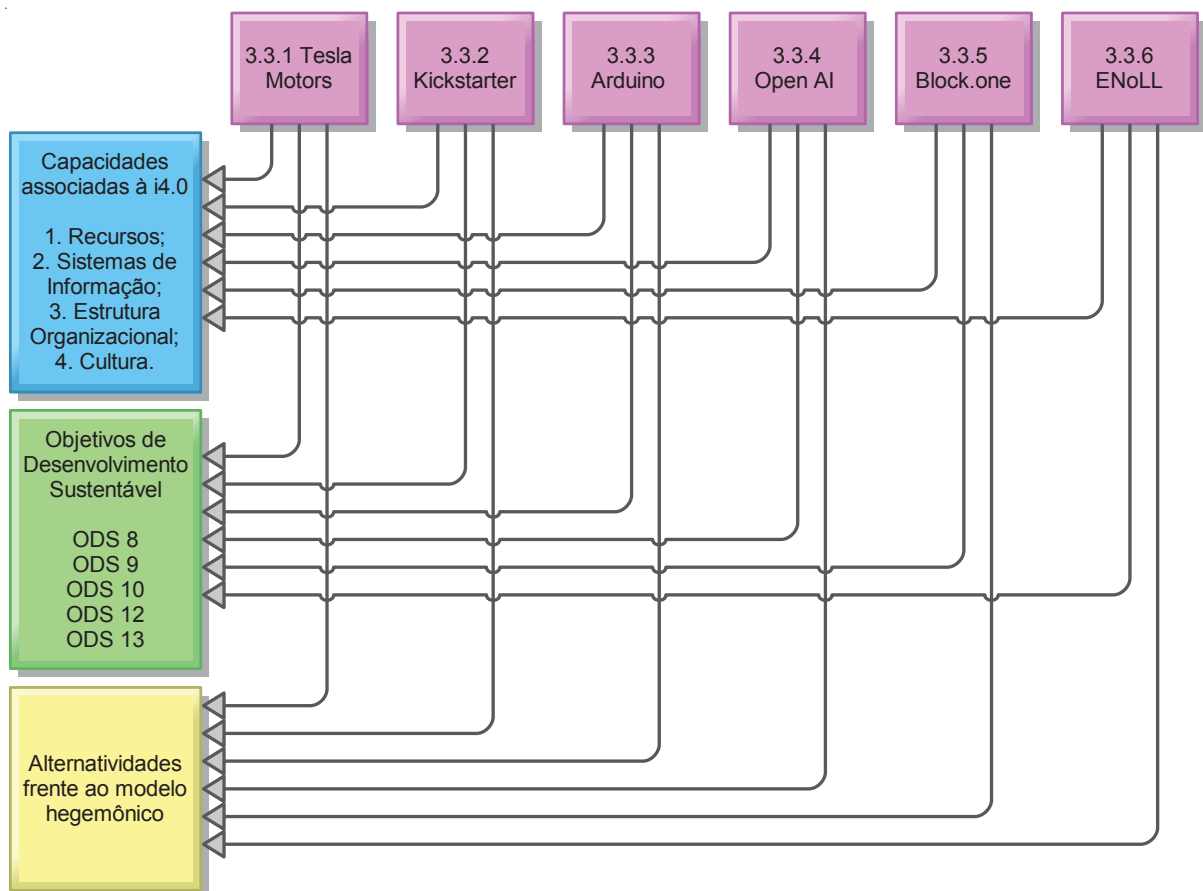
### 1.3.7 Organização das categorias de avaliação e resultados

Os resultados serão organizados sob forma de 6 quadros, um para cada iniciativa avaliada, de forma a avaliá-las de forma sistemática, e assim identificar elementos em comum, que por sua vez serão sistematizados nas considerações finais do trabalho, de forma a investigar elementos que possam traçar um perfil (*roadmap*) para modelos de desenvolvimento tecnológicos mais alinhados à ideia de sustentabilidade.

A figura 6 traz um modelo (simplificado) de como serão organizados os resultados, de forma a ser possível identificar elementos em comum entre as diversas iniciativas: Cada uma das seis iniciativas (em roxo) serão avaliadas em relação a quatro quesitos relativos às capacidades i4.0, a cinco ODS e, por fim, em relação às suas características alternativas ao modelo capitalista hegemônico.

A partir desta avaliação sistemática das seis iniciativas levantadas, pretende-se trazer à tona similaridades entre as mesmas nos três diferentes aspectos: capacidades associadas à i4.0, aderência aos ODS definidos e alternativas frente ao modelo capitalista tradicional. O último aspecto se faz necessário para discussão de pontos que são pertinentes à discussão do tema ambiental mas transcendem aos conceitos dos ODS, afinal a própria definição dos ODS está bastante ligada ao modelo de desenvolvimento capitalista hegemônico, conforme será discutido na próxima seção do trabalho.

FIGURA 6 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO MOSTRANDO A ORGANIZAÇÃO DE RESULTADOS



FONTE: Autor (2020)

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, inicialmente serão apresentadas revisões de literatura a respeito da atual crise ambiental (capítulo 2.1) e a respeito do fenômeno da “indústria 4.0” (capítulo 2.2), a fim de contextualizar a primeira etapa de desenvolvimento do trabalho (capítulo 3.1). Na sequência serão abordados novos conceitos de desenvolvimento tecnológico no intuito de subsidiar a segunda parte do desenvolvimento (capítulo 3.2).

### 2.1 A CRISE AMBIENTAL E OS ODS

Para contextualizar "crise ambiental" e "desenvolvimento sustentável", inicialmente foram definidos alguns conceitos importantes (subcapítulo 2.1.1), para então apresentar um panorama sobre o crescimento populacional humano (subcapítulo 2.1.2) e, por fim, a crise ambiental na ótica dos movimentos ambientalistas, até o surgimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável, ou ODS (subcapítulo 2.1.3).

#### 2.1.1 Conceitos preliminares

Dentre os conceitos que são essenciais para se entender aquilo que atualmente chama-se “crise ambiental” está a expressão “meio ambiente”. De forma genérica, "meio ambiente" pode ser qualquer coisa na qual um organismo vive, como uma região geográfica, uma condição climática, um poluente ou ainda os ruídos que cercam um organismo. O meio ambiente de um parasita inclui, por exemplo, o corpo do hospedeiro. (COLLIN, 2004 p.74) No entanto, para o estudo de questões ambientais e suas relações com o desenvolvimento das sociedades humanas, pressupõe-se um conceito de "meio ambiente" muito mais amplo, já que também leva em consideração aspectos essencialmente humanos (econômicos, sociais e culturais) além de muito mais complexo, já que também considera as inúmeras relações de interdependência entre homem, a sociedade, componentes físicos, químicos e biológicos.

No entanto, quando se fala na literatura em “sustentabilidade ambiental” de forma estrita, separando este aspecto de outros, tais quais econômico ou social,

usualmente a ideia é fazer referência a questões ligadas diretamente a uma natureza “externa ao homem”, ligada a biologia, ecologia, geologia, etc., como se a vida humana pudesse estar, de alguma forma, separada do restante dos processos naturais do planeta.

A análise do meio ambiente a partir de todos estes elementos e suas consequentes relações mútuas invariavelmente cria o que se chama de “ética ambiental”. A ética ambiental pode ser definida como a análise e a discussão das obrigações das pessoas em relação ao meio ambiente (COLLIN, 2004 p.74), é mais usualmente chamada de "consciência ambiental" e é um fenômeno bastante recente na história humana. A ideia surge apenas na segunda metade do século XX como resultado de fatos ocorridos entre os anos de 1940 e 1960, como a segunda guerra mundial, a guerra fria, a explosão demográfica, o êxodo rural, o avanço tecnológico da indústria, entre outros. (MENDONÇA; DIAS, 2019 p. 33)

Outro fator para o nascimento da consciência ambiental no mundo a partir desta época também está relacionado a grandes desastres ecológicos evidentemente causados pelo homem, que evidenciam o desrespeito das sociedades com as dinâmicas e processos naturais frente à manutenção dos lucros e do atual modo de produção, e que continuam sendo observados até os dias atuais. Alguns exemplos: a contaminação por mercúrio em Minamata (Japão, 1954) o rompimento de tanques em Seveso (Itália, 1976), gases letais em Bhopal (Índia, 1984), o desastre da usina nuclear de Chernobyl (Ucrânia, 1986), a explosão de uma plataforma de petróleo no golfo do México (2010) ou ainda o rompimento da barragem de Mariana (Brasil, 2015). (MENDONÇA; DIAS, 2019 p. 34-35)

Outro conceito bastante importante dentro da perspectiva ambiental é o próprio conceito de “desenvolvimento”, que geralmente é conjugado em conjunto com outros termos<sup>16</sup> e indica uma situação de melhoria, crescimento ou evolução de alguma situação ou realidade, sendo, portanto, bastante subjetivo e circunstancial, já que pode diferir bastante em relação às perspectivas de diferentes sociedades humanas. O próprio conceito de desenvolvimento, portanto, traz a perspectiva de antagonismo na discussão ambiental, posto que seja evidente a contradição entre a

---

<sup>16</sup> Por exemplo: desenvolvimento humano, desenvolvimento industrial, desenvolvimento sustentável, etc.

história do desenvolvimento da sociedade e a história da preservação ambiental. (MENDONÇA; DIAS, 2019 p. 59-60)

No artigo “A primeira utopia do antropoceno”, o autor José Eli da Veiga (2017) traz um conceito bastante útil para “desenvolvimento” no escopo deste trabalho:

Desenvolvimento tem a ver, primeiro e acima de tudo, com a possibilidade de as pessoas viverem o tipo de vida que escolherem, e com a provisão dos instrumentos e das oportunidades para fazerem suas escolhas. Por isso, precisa ser definido pela ênfase nos fins, não no meio que mais tem contribuído para alcançá-los: o crescimento econômico dos quase doze milênios, ou a generalização do crescimento intensivo que começou há menos de dois séculos.

Também não faria nenhum sentido imaginar que o desenvolvimento pudesse ser definido apenas como crescimento econômico distributivo, mesmo que a distribuição vá bem além da renda e inclua a expansão de algumas oportunidades essenciais, como os acessos à educação e à saúde. Sobretudo porque essa fórmula não deixaria de manter a confusão entre meios e fins. E é por isso que o desenvolvimento é a mais política das questões socioeconômicas. (VEIGA, 2017 P. 236)

O conceito de desenvolvimento passa, aos poucos, a ter diferentes interpretações: Se inicialmente estava estritamente ligado ao progresso industrial, entre os anos de 1950 e 1960 passa a agregar o conceito de equidade social e a percepção da necessidade de mudanças estruturais, e apenas ao final da década de 1960 (e início da década de 1970) surge a visão de desenvolvimento que agrega três grandes aspectos: econômicos, ambientais e sociais, e que quase duas décadas depois resultou na concepção do que se chama de “desenvolvimento sustentável”. (MENDONÇA; DIAS, 2019 p. 67)

Baseado em conceitos de *Balance Scorecard*<sup>17</sup>, em 1994 John Elkington criou a expressão "*Triple Bottom Line*"<sup>18</sup> (TBL), que se refere a justamente a uma metodologia de medição de resultados que leva em consideração estes três grandes aspectos: econômico, ambiental e social. (THE ECONOMIST, 2009) O método se baseia nestes três conceitos mas usa expressões que, em inglês, começam com a letra “P”: (ELKINGTON, 1997)

---

<sup>17</sup> *Balanced Scorecard* (BSC) , poderia ser traduzido como "indicador de desempenho equilibrado", é uma metodologia desenvolvida em 1992 pelos professores Robert Kaplan e David Norton para medição e gestão de desempenho de empresas.

<sup>18</sup> Em tradução livre, seria algo como “triplo ponto de partida”, muito embora a expressão seja mais conhecida no Brasil como “tripé da sustentabilidade”.

1. *Profit* (lucro, ou seja: sustentabilidade econômica): É a medida tradicional de lucro nas empresas, o “resultado final” entre receitas e despesas;
2. *People* (pessoas, ou seja: sustentabilidade social): É resultado final da “conta social” de uma empresa, que mede o quão socialmente responsável uma organização é ao longo de suas operações.
3. *Planet* (planeta, ou seja: sustentabilidade ambiental): É o resultado final da “conta planeta” da empresa, que mede o quão ambientalmente responsável é em relação ao uso do “capital natural”<sup>19</sup> do planeta.

A descrição deste método consta na obra "*Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*" e suscita a ideia de que somente uma empresa que utiliza o TBL estaria de fato levando em consideração o custo total envolvido em seus negócios. Para provar o ponto, a obra traz perfis de algumas das empresas mais conhecidas do mundo: Nike, Wal-Mart, Levi Strauss, Volkswagen, Texaco, Intel, Volvo, Dow Chemical, Electrolux, Novo Nordisk e Shell (ELKINGTON, 1997), tomando assim a forma de uma espécie de “guia prático” muito utilizado em empresas até os dias atuais.

A figura 7 é baseada na mesma obra e traz um diagrama de Venn<sup>20</sup> que representa as três formas de sustentabilidade relacionadas pelo autor que, juntas, criariam uma suposta sustentabilidade corporativa, mostrando ainda os conjuntos de interseção a cada dois grupos, definindo: Um ambiente “suportável” quando há sustentabilidade social e ambiental; um ambiente “equitativo” quando há sustentabilidade social e econômica e um ambiente “viável” quando há sustentabilidade econômica e ambiental. A sustentabilidade final existiria, portanto, quando o ambiente é simultaneamente suportável, equitativo e viável.

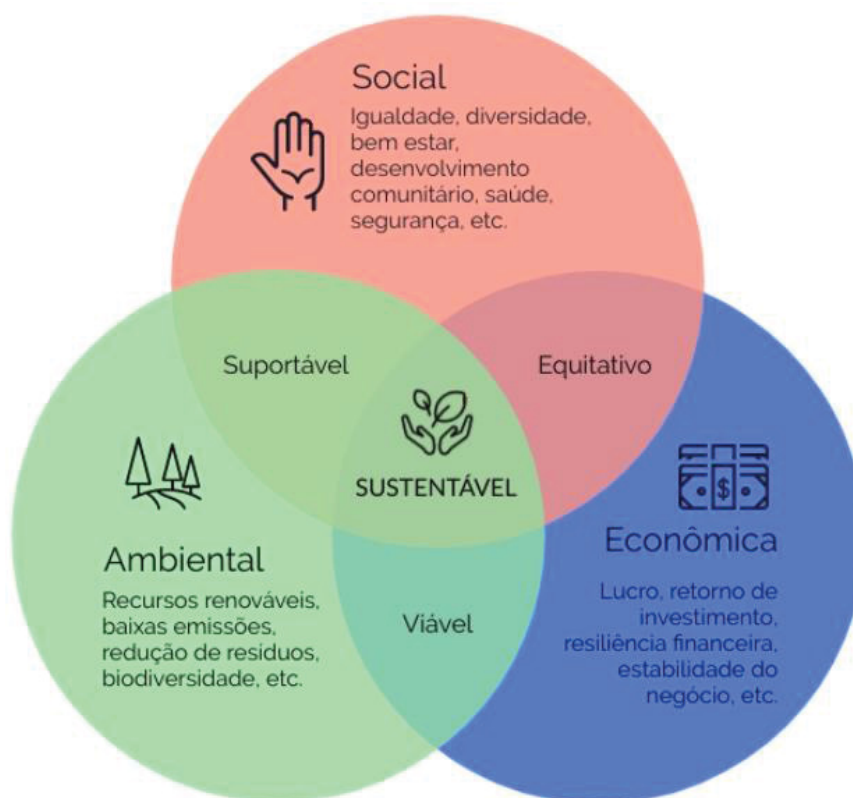
---

<sup>19</sup> Conceito que, a partir do conceito de "custos de produção", percebe o valor de recursos naturais tratando-os como parte do capital da empresa.

<sup>20</sup> O diagrama de Venn é um sistema de organização de conjuntos numéricos criado por John Venn, onde os elementos são agrupados em figuras geométricas de forma a facilitar a visualização das divisões e intersecções entre diferentes grupos.



FIGURA 7 – OS TRÊS GRANDES EIXOS DA METODOLOGIA “TRIPLE BOTTOM LINE”



FONTE: AUTOR, baseado em ELKINGTON, 1997

A intensa associação da ideia do TBL com o do desenvolvimento econômico de empresas fica evidente na referida obra de John Elkington, que tem um escopo claramente direcionado à gestão de empresas em um contexto capitalista. A obra descreve ainda sete grandes “revoluções sustentáveis” que já estariam se desenvolvendo, e para as quais os líderes empresariais devem estar preparados. O quadro 3 (LAURIANO, 2012) traz um resumo desta parte da obra, e mostra, nas colunas da esquerda para a direita: os temas destas supostas revoluções, o velho paradigma, o novo paradigma e uma breve explicação sobre a mudança a ocorrer.

Uma crítica a este modelo (TBL) é justamente a sua evidente aderência ao pensamento capitalista industrial tradicional, pois ao contrário do modelo adotado entre o final dos anos 1970 e o início dos anos 1980, que propunha a redução do consumo como solução da problemática ambiental, o modelo baseado no TBL permite a continuidade de uma sociedade de consumo, mas desta vez com um novo estereótipo: o consumo “*ecofriendly*”, ou seja, de produtos “ambientalmente corretos”, e portanto de forma “amigável ao meio ambiente”, que não passaria de simples retórica do discurso desenvolvimentista (MENDONÇA; DIAS, 2019 p. 80-81).

QUADRO 3 – COMPARATIVO DAS “REVOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS” DE EMPRESAS

Grandes questões	Velho Paradigma	Novo Paradigma	Explicação
<b>Mercados</b>	Complacência	Competição	Os mercados tendem à abertura, com a livre competição, tanto em nível nacional quanto internacional. As empresas que se adaptarem mais rapidamente e observarem as oportunidades que essas mudanças oferecem sobreviverão. As questões abordadas pelo TBL são levadas cada vez mais em consideração, tanto por clientes quanto pelos mercados financeiros.
<b>Valores</b>	Hard	Soft	Os valores são vistos como dados pela maior parte da população. Contudo, os valores se modificam a cada geração, apresentando desafios e oportunidades às empresas. Diversas organizações sucumbiram devido à falta de preparo para lidar com a mudança de valores e a inclusão de novos temas na agenda, como meio ambiente e direitos humanos.
<b>Transparência</b>	Fechada	Aberta	As atividades das organizações têm sido acompanhadas cada vez mais de perto. Algumas formas de abertura serão voluntárias, mas outras serão mandatórias. A transparência exigida pela comunidade internacional já não está mais nas mãos das organizações, resultado dos novos sistemas de valores e tecnologias de informação avançadas.
<b>Tecnologia do ciclo de vida</b>	Produto	Função	Com a percepção de que a cadeia produtiva dos produtos pode causar impactos negativos significativos, as organizações começam a analisar não somente seus produtos, mas também todo o processo de produção, desde a extração da matéria-prima até a destinação final. Essa mudança advém das pressões cada vez maiores da sociedade e dos governos, tanto em questões de transparência e inclusão de novos temas na agenda.
<b>Parcerias</b>	Subversivas	Simbióticas	Organizações que antes competiam começam a enxergar novas formas de parcerias com o objetivo de alcançar o sucesso. Isso não significa que não haverá mais atritos e competição, e sim que as empresas tendem a realizar parcerias em novos contextos.
<b>Tempo</b>	Mais amplo	Mais longo	Frente ao desafio da sustentabilidade, a tendência é que o tempo seja analisado no longo prazo, ao pensar em décadas, gerações ou até mesmo séculos à frente. A utilização de cenários, ou visões alternativas do futuro são formas nas quais as organizações podem expandir seus horizontes de tempo.
<b>Governança Corporativa</b>	Exclusivo	Inclusivo	A revolução da governança é uma confluência de todas as outras. As empresas adotam uma postura mais crítica com relação a sua própria existência e propósitos. Perguntas como “qual deve ser o balanço ideal entre os interesses dos <i>acionistas</i> e dos <i>demais interessados</i> ?”; “como balancear questões econômicas, sociais e ambientais?” são cada vez mais esperadas. Quanto melhor o sistema de governança corporativa, maiores são as chances de se alcançar o capitalismo sustentável. A experiência sugere que não basta mudanças no processo e no <i>design</i> de produtos.

FONTE: Adaptado de LAURIANO, 2012

Cabe ressaltar que o uso destes novos termos é usualmente realizado sob forma de neologismo discursivo, e

(...) não se trata de uma apropriação apenas por parte da publicidade comercial, mas também por parte da lógica do sistema capitalista como um todo. Se antes crescimento econômico e preservação do meio ambiente eram antagônicos à discussão de desenvolvimento, nessa nova abordagem ambos caminham lado a lado, verificando uma apropriação do discurso ambiental. (MENDONÇA, 2019, P.80).

Conforme será abordado no capítulo 2.3, algumas das mudanças listadas no quadro 3 também se refletem em alguns dos conceitos da chamada “indústria 4.0”, o que suscita que estes fenômenos (i4.0 e TBL) estão, em grande parte, relacionados.

Na próxima seção serão relacionadas as origens e percursos dos principais movimentos ambientalistas e quais são as suas relações com as atuais definições e metas globais definidas pela ONU.

### 2.1.2 Crescimento populacional

Em meados do século dezoito, a revolução industrial (doravante chamada “primeira” revolução industrial) trouxe um crescimento ainda mais rápido da população humana, e também do uso intensivo de carvão como fonte de energia para as máquinas recém inventadas, ao passo que no início do século dezenove a população humana já ultrapassa a marca de um bilhão de indivíduos. (ROSER e ORTIZ-OSPINA, 2019)

No entanto foi só no início do século passado, marcado pela “segunda” revolução industrial (conforme será melhor avaliado no capítulo 2.2) e do uso da eletricidade, que a população humana experimenta sua maior taxa de crescimento populacional, chegando a 2 bilhões no final da década de 20, a três bilhões no início da década de 60, quatro bilhões em meados da década de 70, cinco bilhões ao final da década de 80 e já ultrapassando 6 bilhões antes do final do século vinte. (ROSER e ORTIZ-OSPINA, 2019)

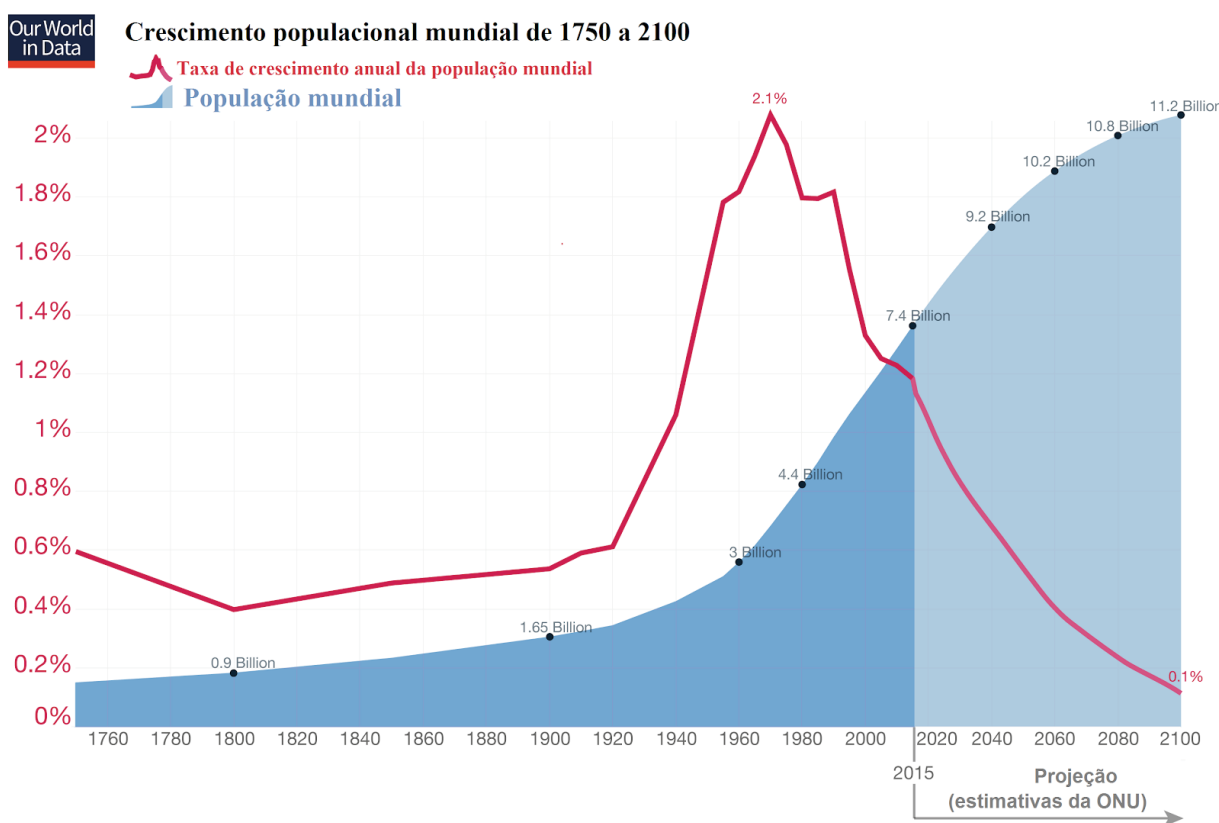
O crescimento da população humana no século vinte foi cerca de três vezes maior do que todo crescimento observado nos milênios anteriores. No entanto, a taxa de crescimento populacional vem caindo desde a década de 1960, e acredita-se que a população humana só crescerá por mais algumas décadas: Segundo o *Deutsche Bank* (JAEGER, 2015) a população terá um pico de 9,7 bilhões de pessoas em 2050, e segundo as nações unidas a população humana terá um pico de 11,2 bilhões de pessoas em torno do ano de 2100. (UNITED NATIONS, 2017)

A figura 8 (ROSER e ORTIZ-OSPINA, 2019), que na realidade fornece gráficos sobrepostos, ambos entre os anos de 1750 até 2100, mostra em vermelho a taxa de crescimento populacional percentual e marcado em azul o número absoluto de indivíduos da população humana. O gráfico baseia-se no modelamento populacional da ONU (UNITED NATIONS, 2017). A taxa de crescimento da

população mundial caiu de 2,2% ao ano, 50 anos atrás, para 1,05% ao ano em 2019. (ROSER e ORTIZ-OSPINA, 2019)

O raciocínio de que o crescimento populacional humano como causador de crise não é recente. Já no ano de 1798, uma famosa obra intitulada *“An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society.”* concluía que a humanidade estaria fadada à fome e a pobreza, já que a população humana cresce sob progressão geométrica, enquanto a produção de comida cresce de forma linear. (MALTHUS, 1798)

FIGURA 8 - CRESCIMENTO POPULACIONAL MUNDIAL (EM PERCENTUAL AO ANO) E NÚMERO DE HABITANTES DE 1750 A 2100 (ESTIMATIVA).



FONTE: Tradução livre de ROSER e ORTIZ-OSPINA, 2019 (tradução livre)

No entanto estas previsões se mostraram erradas, e muito embora a população de fato tenha aumentado exponencialmente por um razoável período de tempo (através da figura 8, pode-se perceber que a década de 1960 representou um pico na taxa de crescimento), a capacidade de produção de alimentos também teve aumentos significativos. Isso se deu principalmente a partir do que foi convencionado chamar de “revolução verde”, um período por volta da década de

1960, de grande desenvolvimento agrícola, quando surgem novas formas de plantas, para cultivo de cereais como trigo e arroz, que davam altos rendimentos e aumentaram substancialmente a produção de alimentos no mundo, especialmente em países tropicais. (COLLIN, 2004 p. 99)

A “revolução verde” possibilitou aumentos de produção a partir da disseminação de novas práticas agrícolas, das quais poderiam ser citadas: a intensiva utilização de sementes geneticamente alteradas; o uso intenso de insumos industriais como fertilizantes e agrotóxicos; a mecanização dos processos de plantio, pulverização e colheita; a produção em massa de produtos homogêneos baseados em monocultura; e a diminuição do custo de manejo. (GAUD, 1968)

Ressalta-se que a revolução verde não foi um movimento isolado do momento pós guerra, afinal,

(...) a ciência e a tecnologia trouxeram grandes avanços para a humanidade, mas, desde o início do processo de industrialização, elas fazem uso dos recursos naturais a fim de atender às demandas de produção e consumo da sociedade, numa lógica de exploração cada vez mais intensa das bases naturais da vida. (MENDONÇA, 2019 p. 33)

### 2.1.3 A crise ambiental e os movimentos ambientais

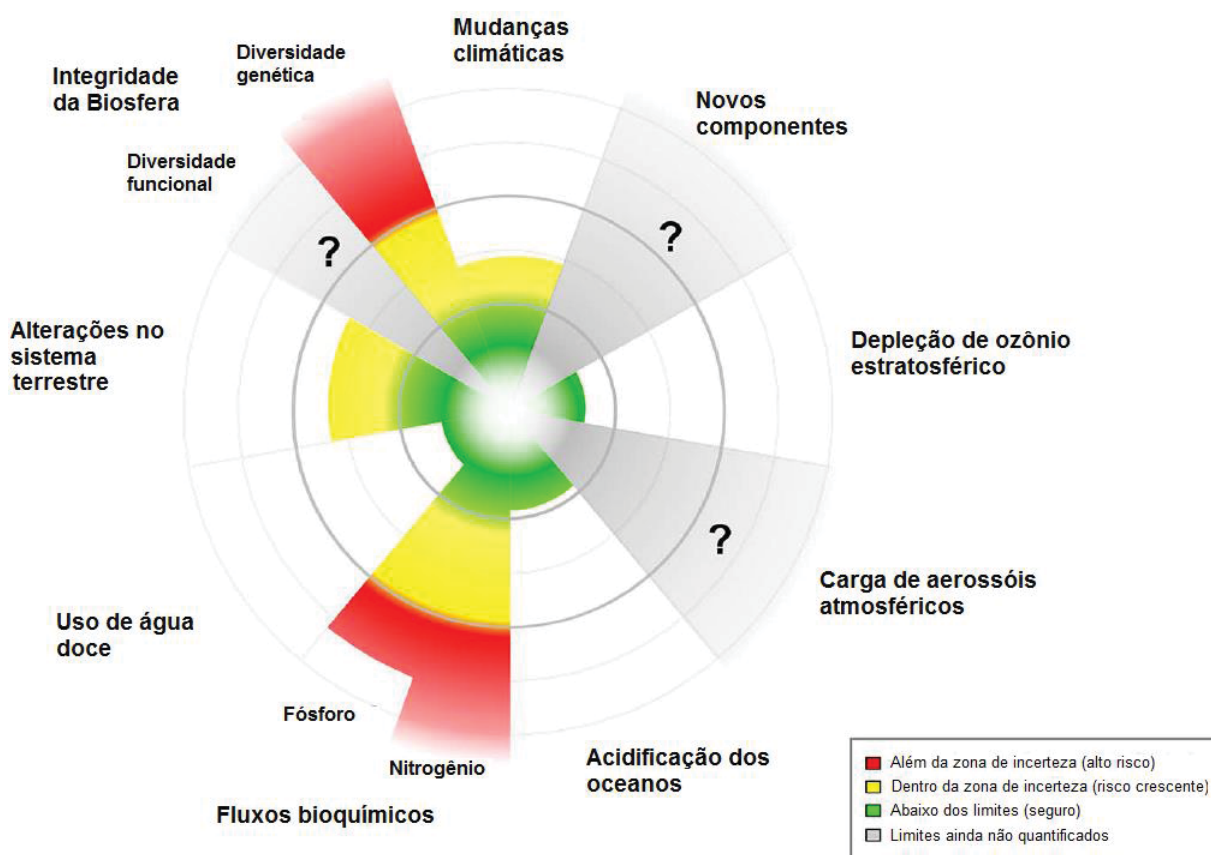
O século vinte trouxe à tona, embalado no crescente desenvolvimento industrial, as primeiras preocupações ambientais, marcadas pela preocupação das alterações do planeta causadas pelo homem (antrópicas). A ciência ainda não é capaz de mensurar de maneira precisa os limites ambientais do planeta, no entanto alguns estudos já foram realizados neste sentido, dos quais pode-se ressaltar o trabalho *"Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science"* (STEFFEN, 2015), no qual o autor procura mensurar limites planetários ligadas a diferentes questões ambientais, no intuito de qualificar os problemas analisados em três diferentes classes, a saber: “alto risco”; “risco crescente” e “seguro”.

A figura 9 (STEFFEN, 2015) ilustra os resultados do trabalho, mostrando as “classes de risco” para diferentes questões ambientais. Segundo o trabalho, um dos pontos mais críticos tem relação com os fluxos bioquímicos do nitrogênio e do fósforo, relacionado ao intenso uso de implementos agrícolas industriais em grandes áreas de monocultura. Assim, tem-se que, muito embora a “revolução verde” tenha

proporcionado um grande aumento da produção mundial de alimentos, também trouxe consequências graves do ponto de vista ambiental.

Grandes extinções de espécies são recorrentes como marcos históricos para mudanças de épocas geológicas, e como pode-se verificar na figura 9, um dos pontos mais críticos relativo às mudanças antrópicas no planeta diz respeito à grande extinção de espécies observada nas últimas décadas. Não é à toa, portanto, que a sociedade internacional de estratigrafia, responsável pela classificação oficial dos períodos geológicos no planeta, instituiu um grupo de trabalho acerca da possibilidade de oficialização de uma nova época geológica que seria chamada de “antropoceno”, por ser marcada pelas alterações humanas no planeta, que provavelmente se estenderá a partir de 1960, em provável consequência das marcas geológicas causadas por testes nucleares. (WATERS et al., 2015) (TURNERY, 2018)

FIGURA 9 - LIMITES PLANETÁRIOS EM DIFERENTES QUESTÕES AMBIENTAIS



FONTE: Tradução livre de STEFFEN, 2015



Mesmo que haja evidências de que o homem seja o causador destas perturbações, cabe ressaltar que o raciocínio da pergunta: “Quantas pessoas cabem no planeta?” não se revela muito útil, posto que invariavelmente leva à conclusão de que quanto menos pessoas existirem, melhor. Eventualmente a pergunta “Qual é a forma de desenvolvimento humano mais sustentável para o planeta?” se mostra mais útil no que tange a possibilidade de se traçarem metas e objetivos palpáveis.

Para tentar responder tal indagação, um documento conhecido como relatório do "Clube de Roma" ou "Relatório Meadows" (MEADOWS, 1972), trouxe algumas reflexões acerca do crescimento econômico mundial. O Clube de Roma é um grupo de pessoas fundado em 1966 e tem como objetivo debater assuntos ligados política, economia internacional, meio ambiente e desenvolvimento sustentável. O título do relatório era, oficialmente, "Os Limites do Crescimento", e foi elaborado por uma equipe do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) conduzida pelo pesquisador Dana Meadows.

O relatório tratava de problemas como energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia e crescimento populacional, ou seja, problemas essenciais para o futuro desenvolvimento da humanidade. Através de modelos matemáticos, a pesquisa concluiu o Planeta não poderia suportar o crescimento populacional e sua consequente pressão sobre os recursos naturais e energéticos e aumento da poluição, mesmo quando se consideravam futuros avanços tecnológicos.

E foi a partir da década de 1970 que surgiram, então, vários movimentos ambientalistas no mundo, que podem ser reconhecidos sob três vertentes de pensamento, cada qual com características distintas: (PIERRI, 2002):

1. A corrente ecologista conservacionista, representada principalmente por biólogos e ecólogos, que tratam da tese dos limites físicos absolutos e na proposta de crescimento zero, paradigmaticamente formulada no Primeiro Informe ao Clube de Roma
2. A corrente desenvolvimentista do ambientalismo moderado, que se expressa na Declaração sobre o meio Humano da ONU, e que se mostra bastante conveniente para manutenção da atual ordem econômica mundial;
3. A corrente crítica humanista, que pretende delinear uma alternativa à ordem dominante, com a proposta de ecodesenvolvimento, ora mais ora

menos integrada na proposta mais geral de uma nova ordem econômica internacional.

Das três correntes de pensamento inicialmente definidas, tem-se que a segunda foi sendo adotada de maneira cada vez mais homogênea e intensa pelos órgãos internacionais. Entre os seus 17 ODS, a ONU inclui “Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos”. (ONU, 2015) A proposta é, portanto, resolver os problemas causados pelo desenvolvimento econômico através de ainda mais desenvolvimento econômico (mas desta vez, de forma “sustentável”), portanto uma lógica bastante conveniente para manutenção do atual sistema econômico mundial.

Segundo a mesma fonte, “Pequenas e médias empresas que se comprometem com o processamento industrial e com as indústrias manufatureiras são as mais decisivas para os primeiros estágios da industrialização e são geralmente as maiores geradoras de emprego. São responsáveis por 90% dos negócios no mundo e contabilizam entre 50 a 60% dos empregos.” (ONU, 2015)

A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, foi realizada de 13 a 22 de junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro. A Rio+20 ficou assim conhecida porque marcou os vinte anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, chamada Rio-92, e contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas. (RIO+20, 2018)

Os 17 ODS foram inicialmente definidos a partir das reuniões do RIO+20, mas oficializados em 2015, entre os dias 25 e 27 de setembro em Nova York, e contaram com mais de 150 líderes mundiais na sede da ONU para adotar formalmente uma nova agenda de desenvolvimento sustentável, que tem como meta implementar 17 objetivos em todos os países do mundo durante os próximos 15 anos, ou seja, até 2030. (ONU, 2015)

## 2.2 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E A INDÚSTRIA 4.0

Nesta seção, no intuito de contextualizar o fenômeno da “indústria 4.0” foram levantadas informações de diversos estudos, inclusive incluindo opiniões críticas a respeito do uso do termo “i4.0”. Na sequência do trabalho, foi criado um quadro



comparativo a respeito das quatro supostas revoluções industriais e suas principais características, e em seguida se trata da relação da indústria 4.0 com o conceito de “cidades inteligentes”.

Por fim, são feitas algumas reflexões a respeito do atual “imaginário industrial” e das perspectivas de mudanças em relação ao fenômeno da i4.0. Estas reflexões são baseadas na obra “*Imagining factories, factories that imagine, the imagined factory*” (MUSSO, 2019), e serão retomadas nos capítulos finais do trabalho, quando se discutirá a respeito do potencial de mudança dos modelos avaliados no capítulo 2.3.

### 2.2.1 Conceitos preliminares

Atualmente, nas áreas de engenharia e tecnologia industrial, quaisquer estudantes ou profissionais que tenham o mínimo contato com as novidades do mercado são bombardeados diariamente com a expressão “indústria 4.0” (i4.0). O conceito vem sendo sistematicamente associado tanto a grandes promessas tecnológicas, como sistemas ciber-físicos, análise de *Big Data*, ou ainda máquinas autônomas; quanto à singelas (e já consagradas pelo tempo) soluções da indústria, como sensores, sistemas de controle e atuadores, que a partir de então recebem o carimbo de “produto para a indústria 4.0”, inaugurando assim um novo formato retórico para a área de vendas, no qual muitas vezes apenas o carimbo é algo (de fato) novo.

O termo “Indústria 4.0”; “*smart factory*”; “*intelligent factory*”; “*factory of the future*” são denominações que especificam uma perspectiva do que será uma fábrica no futuro (BAYGIN et al, 2016 p.02) O quadro 4 traz vários termos, utilizados por órgãos governamentais em diferentes países para designar projetos ou programas associados ao fenômeno da i4.0. Todos os termos foram cunhados entre 2011 e 2016, e são, portanto, conceitos bastante recentes. (BRASIL, 2017c) (MARIANI e BORGHI, 2019 p. 4)

QUADRO 4 – TERMOS ASSOCIADOS AO FENÔMENO I4.0 UTILIZADOS EM DIFERENTES PAÍSES

País	Palavras-chave
Alemanha	<i>Industrie 4.0, Industry 4.0</i>
Estados Unidos	<i>Smart Manufacturing, Advanced Manufacturing</i>
França	<i>Industrie du future</i>
Reino Unido	<i>High value manufacturing, future of manufacturing</i>
União Européia	<i>Factories of the Future, Factories 4.0</i>
Coréia do Sul	<i>Manufacturing 3.0</i>
China	<i>Made in China 2025, Internet Plus</i>
Japão	<i>Super Smart Society</i>
Itália	<i>Industria 4.0, Fabbrica Intelligente, Impresa 4.0</i>
Brasil	Manufatura avançada

Fonte: Autor, adaptado de BRASIL, 2017c e MARIANI e BORGHI, 2019 p. 4

O ponto de partida do atual discurso da “Indústria 4.0” (i4.0) foi uma projeção para o futuro do desenvolvimento econômico alemão a partir de potenciais tecnológicos já estabelecidos, com expectativa de amplas transformações na sociedade. Essa projeção foi apresentada pela primeira vez (a uma grande audiência) durante a feira de Hannover, na primavera de 2011. O conceito anunciava uma “mudança de paradigma” industrial para a Alemanha com base em novas tecnologias digitais, que, portanto, deviam ser implementadas sem demora. (HIRSCH-KREINSEN et al., 2016 p. 5)

A i4.0 está associada um conjunto de tecnologias de base digital que pode variar na percepção de diferentes analistas, todavia poderiam ser citadas as seguintes: sensores e atuadores; internet das coisas (IoT); *big data*; computação em nuvem; inteligência artificial; tecnologias de comunicação sem fio; sistemas integrados de gestão; robótica; manufatura aditiva e novos materiais. (VERMULM, 2018 p 4-6)

A i4.0 representa uma mudança de paradigma da produção “centralizada” para “descentralizada”. Isso é possível a partir de avanços tecnológicos que constituem uma reversão da lógica do processo de produção convencional: as máquinas de produção industrial não mais simplesmente “processam” o produto, agora o produto se comunica com o maquinário para informá-lo exatamente o que fazer. (GTAI, 2014 p.6)

Este momento tecnológico pode ser interpretado como resultado da combinação de alguns aspectos:

1. Avanço contínuo da capacidade dos computadores e das interfaces software-usuário;
2. Redução do custo de novas tecnologias utilizadas em processos produtivos;
3. Digitalização da informação, desde a concepção dos produtos, testes, protótipos até layouts fabris;
4. Mudanças na organização do trabalho na produção e nos estoques de componentes e produtos;
5. Novas estratégias de negócios, impulsionadas pela integração de TIC e prestação de serviços inteligentes de internet. (BRASIL, 2017c)

Todos estes aspectos combinados aos conceitos de “maturidade i4.0” apresentados no capítulo 1.3 podem ser resumidos na ideia de Lorenzo Bassi (BASSI, 2017) do que seria uma “indústria totalmente 4.0” em uma ideia extrema do que seria a automação avançada: Segundo o autor, no momento em que for possível se deparar com uma verdadeira indústria 4.0 não haverá dúvida nenhuma ao reconhecê-la: Será totalmente escura e fria, pois não haverá humanos lá (BASSI, 2017, p.5). De forma singular, no mesmo trabalho o autor ainda ilustra como seria este modelo de fábrica, conforme reproduzido na figura 10. Muito embora a total ausência de humanos em um parque fabril possa parecer inusitada, faz bastante sentido quando avaliados os modelos de medição de maturidade i4.0 apresentados no capítulo 1.3.

FIGURA 10 – O ASPECTO DE UMA HIPOTÉTICA FÁBRICA DO FUTURO (FRIA E ESCURA)



FONTE: BASSI, 2015 p. 5



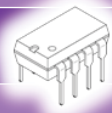

### 2.2.2 Principais características da i4.0

O termo i4.0 tem a pretensão de denotar uma "Quarta Revolução Industrial" no mundo: a primeira revolução industrial é geralmente associada às máquinas a

vapor e o início da era da indústria; a segunda revolução industrial é geralmente vista como a aplicação da eletricidade para criar produção em massa, particularmente na nova indústria automobilística; a terceira revolução industrial está geralmente ligada ao uso extensivo de eletrônicos e tecnologia da informação para automatizar a produção. (BASSI, 2017)

No Quadro 5 apresenta-se uma comparação entre as quatro (supostas) revoluções industriais, relacionando diversos aspectos, relacionados a seguir de forma mais detalhada.

QUADRO 5 – COMPARATIVO DAS QUATRO REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

	Primeira Revolução	Segunda Revolução	Terceira Revolução	Quarta Revolução
Provável início	○ A partir de 1770	○ A partir de 1870	○ A partir de 1970	○ A partir de 2070?
Principal área tecnológica	○ Mecânica 	○ Elétrica 	○ Informática 	○ Automação avançada 
Exemplos de tecnologias	○ Máquinas a vapor ○ Uso de aço fundido ○ Tear mecânico <b>1</b>	○ Motor/gerador elétrico ○ Motor de combustão interna ○ Lâmpada elétrica ○ Telefone / rádio <b>2</b>	○ Controlador lógico programável (CLP) ○ Sistemas de telecomunicações móveis ○ Microprocessadores ○ CAD/CAM <b>3</b>	○ Sistemas ciber-físicos ○ Internet das coisas (IoT) ○ Realidade Aumentada ○ Smart Grids e geração distribuída ○ Machine learning e Inteligência artificial ○ Computação em nuvem ○ Big Data e sensores ○ Impressão 3D <b>4</b>
Formas de produção	○ Início da maquinofatura	○ Fordismo ○ Taylorismo	○ Toyotismo ○ Volvismo	○ Sistemas autônomos
Conceitos de produção	○ Padronização dos produtos e dos processos de fabricação ○ Criação e desenvolvimento de quadros hierárquicos rígidos gerenciais e de supervisão	○ Sistematização do conceito de produtividade ○ Redução de custos de produção e produção em massa ○ Linha de montagem, posto de trabalho, estoques intermediários	○ Produção puxada, kanban, Just-in-time, uso de células de produção ○ Manufatura integrada por computador ○ Evolução dos processos de controle de qualidade	○ Customização de produtos ○ Orientação a serviços ○ Controle e supervisão de produção em tempo real ○ Virtualização de fábrica
Tendências de gestão	○ Desenvolvimento de técnicas de planejamento e controle financeiro, da produção, e de vendas ○ Manutenção corretiva	○ Uso de ferramentas de cálculo para otimização da produção ○ Manutenção preventiva	○ Globalização e empresas multinacionais ○ Início do uso de ERPs ○ Manutenção preditiva	○ Gestão sem hierarquia (Ex. halocracia) ○ Sustentabilidade (triple bottom line, etc.) ○ Descentralização de processos ○ Inovação aberta e metodologias colaborativas (Ex. Living Labs)
Relações de trabalho	○ Precarização do trabalho e carga horária extenuante	○ Criação de sindicatos e conquista de direitos trabalhistas	○ Planos de cargos e salários e direitos trabalhistas consolidados	○ Mudança no perfil do trabalhador ○ Substituição do trabalho humano por máquinas
Novas fontes de energia	○ Uso intenso de carvão mineral em máquinas a vapor	○ Uso de geradores elétricos a petróleo, gás e hidroeletricidade e combustíveis para transporte	○ Uso intenso de combustíveis nucleares para geração de energia elétrica	○ Uso substancial de energias renováveis a partir do sol/ventos e do uso de biocombustíveis. Início do uso de energia por fusão nuclear?

FONTE: Autor (2020)

Percebe-se que as primeiras três revoluções industriais estavam ligadas a invenções baseadas em descobertas científicas inovadoras específicas (máquina a

vapor, eletricidade e sistemas de informação) e às suas respectivas primeiras aplicações em um (novo) ambiente industrial, de forma a aumentar a produtividade a cada etapa. No entanto, o conceito de quarta revolução industrial (associado à i4.0) não se mostra como uma revolução técnica ligada a uma descoberta científica inovadora específica, e provavelmente o conceito ainda não tem fundamentos científicos suficientes para ser definido como uma “revolução”, haja vista que se trata da primeira vez em que uma revolução industrial é definida a priori, e não após a sua observação concreta. (BASSI, 2017 p. 1)

#### a) Provável início

Posto que não haja evidências concretas de uma quarta revolução industrial (BASSI, 2017 p. 1), mas apenas indícios da possibilidade de ocorrência no futuro, a título de provocação, no quadro 5 foi considerado um intervalo de 100 anos entre cada revolução, a começar pelo ano de 1770. Esta estimativa se mostra bastante razoável para as três revoluções anteriores, mas colocaria a quarta revolução industrial como 2070, o que contraria as expectativas de vários autores, conforme será abordado na sequência do trabalho. Assim, ressalta-se que as o ano de início (2070) na última coluna do quadro 5 leva simplesmente em consideração os intervalos de tempo anteriores, posto que não há evidências concretas de que de fato já tenha ocorrido uma quarta revolução industrial. (BASSI, 2017 p. 1)

#### b) Principal área tecnológica

Enquanto nas três primeiras revoluções industriais se baseavam respectivamente em sistemas mecânicos, elétricos e de informática, a principal área tecnológica associada à quarta revolução industrial é, de modo geral, a automação avançada sob a ótica da autonomia das máquinas. (BRASIL, 2017c p.5)

No entanto, este conceito contempla diversas capacidades bastante distintas entre si, conforme já elencado no subcapítulo 1.3.5. Ressalta-se que a medição destas capacidades foi implementada em uma indústria de desenvolvimento de tecnologia eletrônica, e detalhada no subcapítulo 3.1.1.

#### c) Exemplos de tecnologias

As tecnologias associadas à quarta revolução industrial são bastante diversas, e, ao contrário das revoluções anteriores, esta não possui uma área

tecnológica estritamente definida. No estudo "*A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018*", através de estudos bibliométricos os autores identificam 7 palavras chave que definem as principais tecnologias associadas à ideia da i4.0, a saber: (DE FELICE et. al, 2018)

1. *Cyber Physical Systems* (sistemas ciber-físicos);
2. *Big Data* (grandes conjuntos de dados);
3. *Internet of Things* (Internet das coisas);
4. *Automation* (Automação);
5. *Additive manufacturing / 3D printing* (manufatura aditiva, ou impressão 3D);
6. *Cloud computing* (computação em nuvem);
7. *Simulation* (simulação);

Este “pacote” de novas tecnologias permite que os projetos realizados no âmbito da i4.0 possam ser orientados sob novos princípios de desenvolvimento, a saber: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade de interação em tempo real, orientação à serviço e modularidade. (LOM et al., 2016 p.1)

#### d) Novas formas de produção

Enquanto a primeira revolução industrial criou o próprio conceito de indústria, a segunda revolução trouxe uma aprimoração deste conceito, criando a divisão do trabalho e a produção em linha e em larga escala, características que ficaram conhecidas como Taylorismo e Fordismo. A terceira revolução industrial, por sua vez, está associada a formas mais recentes de produção, como o Toyotismo, onde trabalhadores realizam múltiplas tarefas e organizam seus próprios trabalhos com foco em padronização, redução de desperdício e melhoria contínua, ou ainda o Volvismo, associado à década de 1990, e conhecido por permitir inovações e experimentações com intensa participação dos trabalhadores para aumentar o comprometimento e engajamento destes com a empresa e com novos projetos. (WOOD JR, 1992)

#### e) Novos conceitos de gestão e de produção

Neste aspecto, a primeira revolução industrial trouxe os primeiros conceitos de controle de recursos na indústria, e a necessidade da manutenção corretiva,

enquanto a segunda revolução trouxe conceitos e ferramentas mais elaboradas de controle industrial, como o uso de ferramentas de cálculo e esforços de manutenção preventiva. A partir da terceira revolução industrial observa-se um cenário bastante comum nas indústrias atuais, como a globalização dos negócios, o uso de *softwares* ERP (*Enterprise Resource Planning*, ou sistema integrado de gestão empresarial) e manutenção preditiva a partir de dados históricos dos equipamentos.

A adequação dos sistemas de controle centralizado está sendo cada vez mais questionada nas indústrias, na mesma medida que o número necessário de decisões aumenta. A complexidade crescente significa, portanto, que os sistemas centralizados estão se tornando mais difíceis de gerenciar. (SCHUH et al., 2017 p. 22)

Espera-se da quarta revolução industrial um cenário corporativo menos hierárquico e mais descentralizado, com grande foco em processos colaborativos. A adequação dos sistemas de controle centralizado está sendo cada vez mais questionada nas indústrias, na mesma medida que o número necessário de decisões aumenta para que se possa manter este controle. A complexidade crescente significa, portanto, que os sistemas centralizados estão se tornando mais difíceis de gerenciar. (SCHUH et al., 2017 p. 29)

#### f) Relações de trabalho

Enquanto a precarização do trabalho e carga horária extenuante foram o grande marco da primeira revolução industrial, considerado o pior momento da história em relação à direitos trabalhistas. (MESCOLOTI e BATISTUZO, 2016 p. 6-7)

Nos Estados Unidos, “apenas no ano de 1896, um em cada 11 operários de siderúrgicas iriam morrer no trabalho, se ativando em jornadas de 12 horas, por 6 dias de semana”.

A segunda revolução é associada à época da legalização e consolidação de sindicatos e à luta por direitos trabalhistas, entre os quais as demandas para redução de cargas extenuantes para um turno de oito horas de trabalho ao dia, e a criação da Organização Internacional do Trabalho (OIT) em 1919. (MESCOLOTI e BATISTUZO, 2016 p. 9)

A terceira revolução industrial tomaram corpo e resultaram em planos de cargos e salários e muito mais direitos trabalhistas consolidados, no entanto esta situação não muda muito para alguns trabalhadores afinal, “o toyotismo também



subdividiu os trabalhadores em dois grandes grupos, de um lado os funcionários de maior ascensão, polivalentes, com maior estabilidade e qualificação, e de outro, os denominados “chão de fábrica” (GUIMARÃES, 2014 p.6), muitas vezes terceirizados e com menos direitos.

Para a quarta revolução industrial esperam-se mudanças no perfil dos trabalhadores e grande substituição de atividades humanas (principalmente rotineiras) por atividades de máquinas.

Espera-se que os tipos de emprego se altere, já que segundo o relatório do Fórum Econômico Mundial intitulado *"The Future of the Jobs: 2018 Report"*, quase 50% das empresas participantes da pesquisa tem expectativa de que a automação traga alguma redução na força de trabalho em tempo integral até 2022, tendo como base os atuais perfis de trabalho. Espera-se que as habilidades necessárias para o trabalho mudem drasticamente nos próximos anos e que, portanto, a requalificação seja um imperativo. (LEOPOLD, 2018)

#### g) Novas fontes de energia

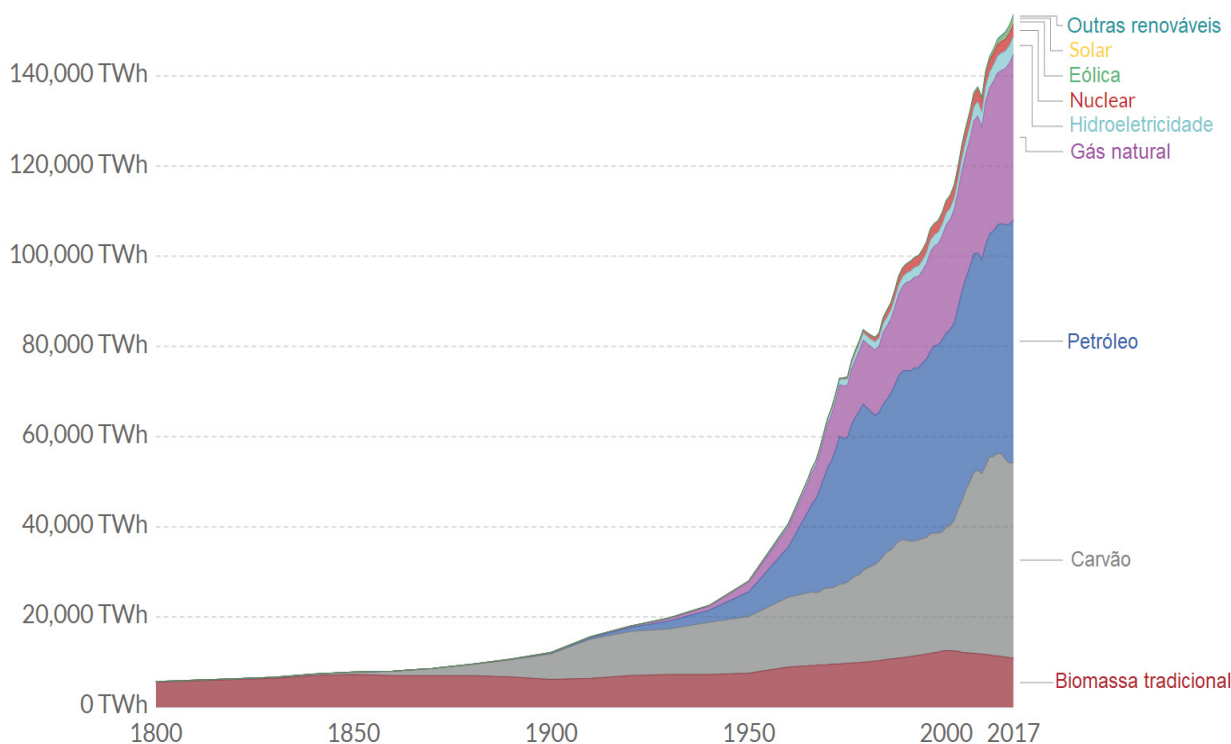
É possível constatar algumas relações entre as revoluções industriais e a introdução de novas fontes de energia primária na matriz energética para uso humano. A figura 11 (ROSER, 2019) estima o volume total de energia (em TWh) utilizada pela espécie humana desde o ano de 1800 até o ano de 2017. Para interpretação deste gráfico, ressalta-se a necessidade de se perceber que o volume de energia está intimamente relacionado à população humana, estimada em 1 bilhão de pessoas no ano de 1800 e passa de 7 bilhões em 2017. Percebe-se, pela figura 11 (ROSER, 2019), que a humanidade adotou novas fontes de energia primária após cada nova revolução industrial.

Após a primeira revolução industrial percebe-se o aumento no uso do carvão mineral, enquanto a segunda revolução industrial marca o início do uso intenso do petróleo, gás natural e hidroeleticidade. Por meio da figura 10 (ROSER, 2019) também é possível perceber que a terceira revolução industrial inaugura o uso da energia nuclear, muito embora de forma não tão evidente por uma questão de escala. Afinal, o gráfico torna claro que novas fontes de energia foram adotadas a cada revolução industrial, no entanto não há evidência suficiente para se falar em substituição de fontes primárias: pelo contrário, percebe-se que há adição de novas fontes enquanto as fontes “antigas” também seguem em expansão. Espera-se que a



quarta revolução industrial marque o início do uso intenso de fontes renováveis “modernas”, no entanto percebe-se que, ao menos por enquanto, todas estas novas fontes de energia representam uma parcela muito reduzida frente às demais fontes de energia global, algumas praticamente imperceptíveis na figura 1 (ROSER, 2019).

FIGURA 11 – CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA PRIMÁRIA POR FONTE, DE 1800 A 2017



FONTE: ROSER, 2019

### 2.2.3 A indústria 4.0 e as cidades inteligentes

A i4.0 (também chamada de *Smart Factory*) pode ser definida como um termo que reúne vários outros termos e denominações de tecnologias usadas por empresas cujas cadeias de valor se utilizam, além de sistemas ciberfísicos, de quatro elementos: (GEISSBAUER et al., 2016 p.1)

- a) A internet das coisas<sup>21</sup> (*Internet of Things* ou IoT);
- b) A internet dos serviços<sup>22</sup> (*Internet of Services* ou IoS);

<sup>21</sup> Conceito que se refere à interconexão digital de objetos cotidianos por meio de protocolo de internet.

- c) A internet das pessoas<sup>23</sup> (*Internet of People* ou IoP);
- d) A internet da energia<sup>24</sup> (*Internet of Energy* ou IoE).

Cabe ainda ressaltar que os princípios da i4.0 são substancialmente os mesmos princípios das “cidades inteligentes” (LOM et al., 2016 p.5), e a ligação de informações da i4.0 com sistemas das cidades inteligentes poderá criar uma relação eficaz, orientada para a demanda e o aumento da produtividade industrial, além do desenvolvimento sustentável da sociedade. (LOM et al., 2016 p.1).

Uma evidência de movimento neste sentido é a recente colaboração da iniciativa i4.0 (iniciada pelo governo alemão e grandes indústrias alemãs) com a iniciativa Industrial Internet Consortium (IIC, iniciada por grandes empresas estadunidenses), anunciada em 2016. (IIC, 2016)

Afinal, enquanto a IIC trabalha para a adoção da internet industrial em escala global com uma abordagem orientada para a interoperabilidade e troca de informações entre diferentes domínios, a iniciativa “*platform i4.0*” vem coordenando a modelagem do deslocamento estrutural digital impulsionado pelo padrão da i4.0 da indústria alemã.

A figura 12 (IIC, 2016) mostra um diagrama desta proposta de complementaridade entre as duas iniciativas. Esta cooperação é um marco importante tanto no avanço global da digitalização da produção industrial quanto para evolução das cidades inteligentes: afinal, enquanto o foco da IIC (iniciativa estadunidense) será de integração e interoperabilidade (através de IoT) entre diversas áreas, tais quais energia, saúde, transporte, manufatura, etc., a iniciativa “*Platform i4.0*” (iniciativa alemã) se ocupará em detalhar a próxima geração do modelo de manufatura e de cadeia de valor da indústria. (IIC, 2016)

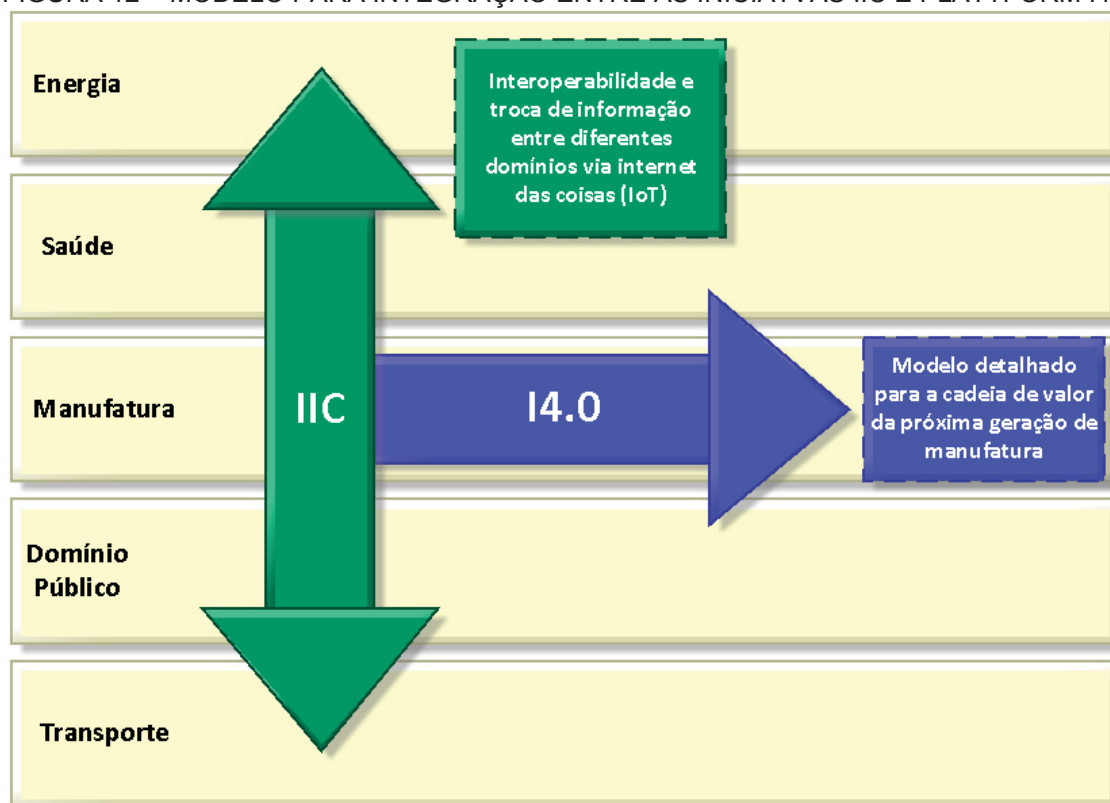
---

<sup>22</sup> Conceito ligado à IoT, que se refere a contratação de serviços por meios digitais via protocolo de internet.

<sup>23</sup> Conceito que se refere à interconexão digital entre pessoas por meio de sistemas baseados em protocolo de internet.

<sup>24</sup> Implementação de sistemas IoT voltados ao monitoramento e controle dos sistemas de energia.

FIGURA 12 – MODELO PARA INTEGRAÇÃO ENTRE AS INICIATIVAS IIC E PLATTFORM I4.0



FONTE: TRADUZIDO E ADAPTADO DE IIC, 2016

#### 2.2.4 O imaginário industrial

Segundo Pierre Musso (MUSSO, 2019), o imaginário não é apenas um produto da imaginação ou uma faculdade psicológica de cada um, mas uma linguagem coletiva de narrativas, um universo de formas e imagens dinâmicas com (um grau de) coerência. Não é contrário ao que é real ou racional, mas complementar a eles, e assim não pode ser separado das realizações mentais ou materiais que o expressam. O imaginário se realiza em objetos, obras de arte ou técnicas que, por sua vez, geram novos “imaginários”. Por exemplo: Um software, uma vez desenvolvido, pode se tornar um videogame ou um mundo virtual que produz novos mundos imaginários possíveis, que a indústria perceberá, da mesma forma que uma combinação química, ao se tornar um perfume sedutor gera uma indústria de sonhos (MUSSO, 2019 p. 2).

A indústria, portanto, ao adotar novas tecnologias e métodos alternativos, como os associados ao fenômeno da i4.0, poderia alterar o próprio imaginário atual

do que é uma indústria, caso estas tecnologias e métodos possam gerar novos imaginários que fujam da ideia tradicional de indústria.

O momento fundador do espírito do industrialismo foi o início do século XVII, um século de muitas revoluções: científica (Galileu e Harvey), política (Guerra Civil Inglesa), filosófica (Descartes e Francis Bacon), religiosa (os Trinta Anos Guerra, 1618-1648), social (as revoltas em 1629) e até climática. Durante esse período revolucionário, a ciência moderna transmitiu um imaginário sobre a experimentação e a transformação da natureza, bastante contrário ao da contemplação do mundo e da separação entre atividades intelectuais e manuais que prevaleciam nos tempos antigos. (MUSSO, 2019 p. 3 tradução livre)

Assim que o sistema fabril foi inventado e desenvolvido, o imaginário industrial prevaleceu e foi institucionalizado por um imenso processo de mecanização das coisas, o que aconteceu até mesmo antes de algumas tecnologias frequentemente associadas ao início da revolução industrial. O mecanicismo, também apontado por Marx, deu origem às grandes indústrias, que se expandiram desde então, acelerando processos de urbanização. (MUSSO, 2019 p. 3)

Segundo o mesmo autor, várias histórias e imagens coexistem girando em torno de três temas ou mitos do imaginário industrial, recorrentes e ambivalentes (MUSSO, 2019 p.7):

- a) O primeiro gira em torno da dialética da indústria/natureza (no sentido de conflito/integração), que no discurso da nova revolução industrial (no contexto do presente trabalho, a i4.0), traz a possibilidade de uma perspectiva mais sustentável, ou "menos insustentável";
- b) O segundo, na descentralização (ou mesmo na "personalização industrial") em contraste com a concentração, que é uma das várias características do fenômeno da i4.0, principalmente quando associada à tecnologia de impressão aditiva (3D);
- c) O terceiro, na reinvenção contínua do setor por meio de inovações técnicas e científicas ou mesmo de uma nova revolução, que no contexto do presente trabalho seria definida como a "quarta revolução industrial", origem do fenômeno da i4.0.

Ainda segundo o autor, a dialética da indústria/natureza surge em duas versões principais: A primeira seria o fim ou a morte da indústria em virtude de um

"quarto" setor (a indústria de serviços) ou por um retorno ao passado (de volta à natureza e à agricultura), onde a desindustrialização é apresentada como inevitável (MUSSO, 2019 p.7). A segunda versão é o retorno à natureza através da adoção de uma "ecologia industrial" ou "indústria verde" e o gerenciamento de recursos ambientais. Esta versão compara um sistema industrial a um ecossistema que responde às necessidades das empresas que estão tentando reduzir sua pegada de carbono na biosfera com o objetivo de "desenvolvimento sustentável". (MUSSO, 2019 p.7)

No entanto, o autor parece não contar com a possibilidade de que novas tecnologias e métodos possam causar uma alteração suficientemente abrupta do próprio imaginário industrial, ao ponto de que estas duas versões passem a acontecer de forma paralela e eventualmente passem a se confundir entre si. Ou seja: ao mesmo tempo que surge uma (nova) indústria tanto baseada em serviços, que de fato remete ao passado, esta também poderá utilizar ferramentas tecnológicas universalmente disponíveis para chegar a grandes eficiências e grandes volumes de produção (mesmo de forma descentralizada) e ainda somando a isso preocupações reais com a gestão e otimização de recursos. Desta forma, os limites entre as alternativas de desenvolvimento e as alternativas ao desenvolvimento tornam-se difusas.

Por meio de tecnologias suficientemente disruptivas, o próprio conceito atual de "indústria" poderia se alterar de forma contundente, como já aconteceu antes na história em outros grandes momentos de mudança de comportamento social e produtivo. Afinal, o próprio autor ressalta no início da obra que a palavra "indústria" deriva de "*in-struere*" em latim, que significa "aquele prepara, pondera, molda dentro de si", e o termo, durante muito tempo, referiu-se a habilidade, talento e engenhosidade relacionados ao know-how. Em um segundo momento, passou a se referir ao comércio, ocupação, emprego e até a uma arte. O atual significado surge ainda depois, e extensão a palavra passou a ser usada para descrever todas as operações que contribuem para a produção e circulação de riqueza. (MUSSO, 2019 p. 2) E, de certa maneira, é justamente esta possibilidade que será investigada em relação aos modelos que serão apresentados na próxima seção.

## 2.3 NOVOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO ASSOCIADOS A I4.0

Diante dos desafios presentes e futuros que a humanidade se vê obrigada a enfrentar, uma das possíveis aliadas é a tecnociência, desde que esteja disponível não apenas para alguns grupos sintonizados com a globalização hegemônica, mas para coletivos cada vez mais amplos (BREHM et. al, 2014 p. 58).

Assim, neste capítulo são levantadas informações a respeito de novos modelos de desenvolvimento tecnológico relacionados às ODS elencadas para o estudo do presente trabalho concomitantemente aos elementos da i4.0, e que também possuem potencial de atingimento de coletivos bastante amplos, a saber: Energias renováveis, geração distribuída e *Smart Grids*; Financiamentos coletivos; *Software e Hardware Livre*; Sistemas de inteligência artificial; *Blockchain* e suas possíveis aplicações; Laboratórios vivos (*Living Labs*).

### 2.3.1 Energias renováveis, geração distribuída e *Smart Grids*<sup>25</sup>

Em virtude da recente viabilização econômica de novas tecnologias de geração de energia (tais quais eólica e fotovoltaica) e a consequente ampliação geográfica da geração energética, percebe-se, no contexto da quarta revolução industrial, o começo de um processo de descentralização no fornecimento energético. Esta descentralização passa a exigir uma rede de energia com mais elementos e com maior grau de inteligência (chamada *Smart Grid*), que seja capaz de fornecer respostas rápida às exigências de controle destes elementos e que ao mesmo tempo seja eficiente (econômica e energeticamente), confiável e sustentável.

Como consequência da descentralização, percebe-se a emergência de uma “nova geopolítica das energias renováveis”, cuja característica observada por Scholten e Bosman (2016) é a diminuição da importância estratégica das ações orientadas ao controle dos locais geográficos onde se encontram os recursos energéticos, o que poderia reduzir conflitos, militares, diplomáticos, fronteiriços, etc., típicos da geopolítica energética convencional, que simultaneamente poderia aumentar gradualmente a segurança energética das nações. Antunes (2014) afirma ainda que países que outrora tinham grande protagonismo na área da energia

---

<sup>25</sup> Este assunto foi tratado durante o trabalho coletivo da turma XII de doutorado do PPGMADE e também durante a disciplina de geopolítica energética.

convencional poderão não gozar da mesma posição no novo regime energético, que seria baseado em energias renováveis.

Para Scholten e Bosman (2016), numa matriz energética cada vez mais renovável, o principal vetor ou portador energético será a eletricidade, “Espera-se que a eletricidade se torne o vetor de energia dominante em um mundo alimentado por energia renovável, uma vez que as energias renováveis com maior potencial [energia solar e eólica] são mais facilmente convertidas em eletricidade” (SCHOLTEN e BOSMAN, 2016, p. 277, tradução livre). Isso implica em uma infraestrutura mais integrada fisicamente e demandante de rigorosos requisitos gerenciais.

Muitos problemas surgiram com o incremento destas tecnologias associadas à automação e análises de dados, por isso, espera-se que o incremento das tecnologias de energia renovável aumente a vulnerabilidade das redes elétricas aos ataques cibernéticos. Em contrapartida essas novas vulnerabilidades poderiam se acompanhar de um aumento na capacidade de resiliência da rede com se está se compõe de micro redes de energia muito mais distribuídas (O’SULLIVAN et al., 2017).

Prossumidor é um neologismo que provém da junção de produtor e consumidor ou profissional e consumidor. O termo é utilizado por Scholten e Bosman (2016) para representar o cenário donde a decisão dos estados de produzir sua própria energia levaria ao aumento dos *prosumer countries* ou países prossumidores. O que diminui o comércio de energia transfronteiriço e, por sua vez, reduz as tensões geopolíticas para as relacionadas às importações de tecnologia de geração limpa como analisado anteriormente. Sob a ótica geopolítica, social e econômica, a emergência dos países prossumidores implica um grande avanço em relação à forma como o sistema de energia é organizado na era dos combustíveis fósseis.

A geração distribuída pode ser classificada como uma unidade de produção de energia elétrica de tamanho reduzido e localizada ao longo do sistema de distribuição. Não requer, portanto, sistemas de transmissão de energia. A geração distribuída procura atender demandas localizadas durante períodos de pico ou então postergar a necessidade de novas instalações e expansão das instalações existentes (JANUZZI, 2000, p. 57). Esta modalidade de geração tem, portanto, uma importância complementar aos sistemas tradicionais.



Assim, cabe ressaltar que a micro e minigeração de energia fotovoltaica distribuída não têm condições de atender, sozinhas, a demanda do pequeno usuário, posta que nesta modalidade de instalação não costuma contemplar armazenadores de energia (baterias), e precisa invariavelmente ser associada com outras formas de geração do sistema interligado.

No entanto, com o surgimento de novas tecnologias de armazenadores esta situação poderia se alterar, e os sistemas fotovoltaicos poderiam suprir uma demanda constante de energia, mesmo em períodos noturnos. No artigo “*A Study on Applicability of Distributed Energy Generation, Storage and Consumption within Small Scale Facilities*”, se apresenta uma comparação entre alguns modelos comerciais alternativos às baterias, todos extremamente superiores aos modelos convencionais de bateria chumbo ácido em termos de número de ciclos, capacidade e descarte: *Tesla Powerwall*, *Panasonic LJ-SK84A*, alguns modelos da empresa *Powervault*, *Orison* (modelo torre e modelo painel), *Mercedes Benz Power Pack*, *BYD Mini ES*, *Nissan xStorage* e *Sonnenbatterie Eco*. (RODRÍGUEZ-MOLINA et al., 2016) o que suscita que vários fabricantes estão trilhando este caminho.

Não obstante existem poucas probabilidades de que os países prosumidores surjam no curto ou médio prazo, sendo que “o resultado mais provável, no entanto, será uma imagem mista, em que os países irão produzir localmente uma parte estratégica de sua energia e aproveitar as ofertas de comércio internacional para ganhar em eficiência.” (SCHOLTEN e BOSMAN, 2016, p. 281, tradução livre).

### 2.3.2 Financiamentos coletivos

Observa-se atualmente o surgimento de novos tipos de relações envolvendo empresas e consumidores. A junção dessa nova mentalidade, aliada às facilidades possibilitadas pelos avanços tecnológicos, viabilizaram o surgimento de movimentos, como o *crowdsourcing*<sup>26</sup> e mais especificamente o *crowdfunding*. O termo *crowdsourcing* foi usado pela primeira vez por Jeff Howe na edição de junho de 2006

---

<sup>4</sup> *Crowdsourcing* é uma palavra composta de *crowd* (multidão) e *outsourcing* (terceirização) e pode ser definido como um processo de obtenção de serviços, ideias ou conteúdo mediante a solicitação de contribuições de um grande grupo de pessoas e, especialmente, de uma comunidade online, em vez de usar fornecedores tradicionais ou uma equipe de empregados.



da Revista *Wired*. Trata-se de um modelo de produção que utiliza a inteligência e os conhecimentos coletivos, de forma voluntária, para obter ideias, arrecadar dinheiro, ou solicitar sugestões e soluções para o desenvolvimento de produtos e serviços, permitindo que empresas se conectem com seu público e com clientes em potencial de forma mais direta por redes colaborativas baseadas em plataformas na *internet*. (MONTEIRO, 2014 pg. 9)

O *crowdfunding* é um modelo específico de *crowdsourcing*, e pode ser definido como a prática de financiar um projeto levantando dinheiro a partir de um grande grupo de pessoas (conhecido como "*crowd*"). O financiamento pode assumir a forma de doações, empréstimos ou dinheiro em troca de participação acionária. O *crowdfunding*, tal qual outras formas de *crowdsourcing*, é tipicamente feito através de plataformas baseadas na *internet*. (BBVA, 2014 p. 28)

O uso da tecnologia on-line baseada em coletividade, em inglês *crowd-based online technology* ou CBOT, é considerado um movimento verdadeiramente global, com benefícios financeiros e econômicos significativos, e seu uso para captação de recursos financeiros a partir de um grande número de pessoas é visto como uma inovação disruptiva no financiamento empresarial, que tem o sistema de *crowdfunding* como a plataforma mais popular para captação de recursos. (KSHETRI, 2015 p.101).

O termo "tecnologia disruptiva" foi cunhado na *Harvard Business School* pelo professor Clayton Christensen e é definido como um processo pelo qual um produto ou serviço que tem raiz inicialmente em aplicações simples voltadas a mercados em baixa, em seguida implacavelmente se move para cima do mercado, eventualmente deslocando concorrentes já estabelecidos. (BBVA, 2014 p. 30).

Segundo Azevedo (2015), há basicamente quatro classificações de plataformas de *crowdfunding*:

- a) Baseado em recompensas (*reward based*), onde os empreendedores lançam a ideia do projeto na plataforma, informando o investimento total necessário para que o projeto se realize e o prazo para concretizá-lo. As recompensas variam de acordo com o valor investido e o apoiador é visto como um cliente especial, e pode ter acesso ao produto com exclusividade antes de ser disponibilizado para o público,

obter um desconto, ou outro benefício específico; (AZEVEDO, 2015 p. 12)

- b) Baseado em doações, modelo no qual as pessoas apoiam projetos filantrópicos ou causas sociais, sem qualquer expectativa de retorno financeiro direto por parte do empreendedor; (AZEVEDO, 2015 p. 12)
- c) Baseado em pequenos empréstimos, uma modalidade que está restrita no Brasil às instituições financeiras, mas é um dos mercados de maior potencial no exterior. Neste modelo pessoas fazem e tomam empréstimos mutuamente a uma taxa de captação mais favorável que o mercado e uma taxa de remuneração mais atrativa que as pagas pelos bancos; (AZEVEDO, 2015 p.12)
- d) Baseado em equity<sup>27</sup>, modelo no qual os colaboradores se tornam investidores de startups e recebem participação nos lucros destas empresas, propiciando o seu crescimento. Por se tratar de um modelo restringido por regulamentações do mercado de capital, ainda é iniciante no âmbito de crowdfunding. (AZEVEDO, 2015 p. 13)

Segundo Monteiro (2014) modelo mais praticado no Brasil é o baseado em recompensas (*reward based*). No entanto, recentemente também surgiram plataformas brasileiras baseadas em *equity crowdfunding*, como por exemplo as plataformas: Broota<sup>28</sup>, EuSócio<sup>29</sup>, e Startmeup<sup>30</sup>, que usam modelos bem parecido: ganham porcentagens que variam de 5% a 10% sobre os valores arrecadados para cada startup. (AMARO, 2015)

Em Março de 2013 o grupo financeiro multinacional Goldman Sachs publicou um relatório chamado "*The Future of Finance: The Socialization of Finance*" onde estima que o mercado de *crowdfunding* tem potencial de até US \$ 1,2 trilhões de

---

<sup>5</sup> *Equity* ou *Private equity* é um tipo de atividade financeira realizada por instituições que investem essencialmente em empresas que ainda não são listadas em bolsa de valores, com o objetivo de alavancar seu desenvolvimento. Esses investimentos são realizados via Fundos de *Private Equity*

<sup>28</sup> <https://www.broota.com.br>

<sup>29</sup> <https://www.eusocio.com.br>

<sup>30</sup> <https://www.startmeup.com.br>

dólares anuais a longo prazo, calculado a partir da combinação das fontes mais populares de financiamento para os pequenos empresários , incluindo empréstimos de cartão bancário, empréstimos hipotecários, empréstimos de crédito ao consumidor, capital de risco e investidores anjo (TERRY; SCHWARTZ; SUN, 2013 p. 12).

O modelo de financiamento via *crowdfunding* é potencialmente o mais disruptivo<sup>31</sup> de todos os novos modelos financeiros. Em termos gerais, tem capacidade de dar poder a redes de pessoas para controlar a criação de novos produtos, mídias ou ideias e está efetivamente criando novas maneiras para que filmes sejam financiados, novos produtos sejam desenvolvidos, ações de caridade sejam executadas, e para que capital de risco seja captado mais facilmente. (TERRY; SCHWARTZ; SUN, 2013 p. 10).

Em maio de 2013, o Google anunciou um investimento de US \$ 125 milhões em uma empresa de *crowdfunding* chamada *Lending Club*. No mesmo mês , o *Google Ventures* (braço de capital de risco do Google), juntamente com *Union Square Ventures* e outros grupos de capital de risco, investiram US\$ 7,5 milhões para financiar o *CircleUp*, uma plataforma de *crowdfunding* que permite que as pequenas empresas vendam capital próprio para os investidores credenciados (BBVA, 2014 p. 28).

No final de 2011 haviam no mundo todo 453 plataformas de *crowdfunding* que captaram um total de US\$1,5 bilhões naquele ano. Em 2012, o número chegou a US\$ 2,7 bilhões em mais de um milhão de diferentes projetos. Em 2013 o número de plataformas disponíveis já passa de mil, totalizando US\$6,1 bilhões em recursos captados e em 2014 o valor total dos financiamentos chega a US\$16,2 bilhões. Em 2015, estima-se que o mercado de *crowdfunding* tenha chegado a um total de US\$34,4 bilhões arrecadados. (MASSOLUTION, 2015) Em um relatório de 2013, intitulado " *Crowdfunding's Potential for the Developing World.*" o Banco Mundial estimou que o mercado mundial de *crowdfunding* vai expandir-se para US\$ 93 bilhões até 2025. (MUNDIAL, 2013 p. 44)

Seriam as plataformas de *crowdfunding* uma séria ameaça para os bancos comerciais ou ao atual sistema financeiro? A cada certo período de tempo grandes

---

<sup>31</sup> Que provoca ou pode causar ruptura ou ruptura; que acaba por interromper o seguimento normal de um processo; que tem capacidade para romper ou alterar; que rompe.

empresas têm de decidir o que fazer com inovações disruptivas que surgem em mercados em baixa: Devem abraçá-las e torná-las parte do seu *core business*? Ou, devem ignorá-las e continuar fazendo o que sabem fazer melhor? Este é o "dilema do inovador" cunhado pelo Professor Clayton Christensen em 1997. (BBVA, 2014 p. 30/31)

Apesar de ainda pequeno, o mercados de *crowdfunding* poderia ficar grandes o suficiente para criar um risco sistêmico aos bancos. Afinal, plataformas de *crowdfunding* não são bancos, mas ainda assim realizam empréstimos e serviços de corretagem para indivíduos e pequenas empresas como qualquer outro banco faria. O *crowdfunding* se mostra, portanto, com um grande potencial de inovação disruptiva que os bancos comerciais não podem ignorar. Talvez pela primeira vez na história, negócios e indivíduos têm acesso a uma fonte sem precedentes de capital criado a partir de pequenas contribuições de milhões de indivíduos em todo o mundo. (BBVA, 2014 p. 33)

Poderá ser possível, especialmente para nações em desenvolvimento, o uso de tecnologia emergente e novos processos de tomada de decisão e captação (incluindo, além de *crowdfunding*, tecnologias móveis, mídia social, etc.) para implementar sistemas de financiamento de novos negócios mais eficientes e que estão mais avançados do que os sistemas prevalentes nos países mais desenvolvidos (MUNDIAL, 2013, p. 9). O Brasil tem sido um líder na América do Sul em relação a plataformas de *crowdfunding*. Opera com mais de 15 plataformas e os primeiros projetos começaram a ser financiados em 2012 (MUNDIAL, 2013 p.19), e portanto se mostra em boa posição nesta corrida em rumo a uma novo tipo de economia.

Conforme já salientado, *crowdfunding* representa uma nova visão na forma como se obtém liquidez, já que ultrapassa o sistema financeiro e representa um meio comunitário (em conceito amplo, a partir da existência da *internet*, por exemplo) de obtenção de recursos. Em todos os seus formatos, é possível perceber que os recursos destinados ao mercado por meio de *crowdfunding* aumentaram exponencialmente: Em 2011 foram US\$1,5 bilhões, em 2012 foram US\$ 2,7 bilhões, em 2013 foram US\$6,1 bilhões, em 2014 foram US\$16,2 bilhões e em 2015 estima-se que o mercado de *crowdfunding* tenha chegado a US\$34,4 bilhões (MASSOLUTION, 2015).

O *crowdfunding*, assim, representaria um novo processo de fornecimento de liquidez aos respectivos usuários, que representaria uma alternativa ao sistema bancário e, principalmente, ao sistema de remuneração determinado pelas instituições financeiras pela liquidez. É um sistema descentralizado, semelhante ao encontrado nos princípios de *Rochdale*<sup>32</sup>, que envolve um sistema pulverizado e descentralizado de pessoas que garantem liquidez às necessidades e projetos que são aprovados para recebimento de recursos.

Projetos de crowdfunding bem-sucedidos têm implicações que vão além das interações dos patrocinadores e criadores que participam dos projetos. As campanhas de crowdfunding levam a novas organizações que, em última análise, geram bilhões em receitas que não são geradas via crowdfunding mas contrataram milhares de funcionários. Os criadores de projetos individuais geralmente usam campanhas de crowdfunding para fazer a transição ou avançar em suas carreiras, ou então para iniciar novos empreendimentos. Também parece haver novas inovações substanciais e um bem social positivo proveniente de campanhas de financiamento coletivo, embora isso possa ser difícil de quantificar (MOLLICK, 2016 tradução livre)

Inegavelmente trata-se de um novo modelo que traz ameaças reais ao domínio das grandes instituições bancárias e maior liberdade financeira ao pequeno desenvolvedor ou artista. É possível supor que este modelo de financiamento seja adotado de maneira ainda mais intensa nos próximos anos, e que consequentemente seja alvo de novas regulações por parte dos Estados, principalmente aqueles que tradicionalmente costumam proteger as grandes instituições bancárias.

### 2.3.3 Software e Hardware Livre: O movimento *Open Source*

Neste capítulo serão apresentados conceitos sobre *software* e *hardware* livre e a respeito da importância destas iniciativas em relação à democratização do desenvolvimento de tecnologias.

Richard Stallman é programador e trabalhou no Laboratório de Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence Lab* - AI Lab) no Instituto de Tecnologia de

---

<sup>32</sup>Fundamentos do movimento cooperativista, surgidos na Sociedade dos Pioneiros de Rochdale, cujas diretrizes principais são: a) adesão livre e voluntária; b) controle democrático pelos sócios; c) participação econômica dos sócios; d) Autonomia e independência; e) Educação, treinamento e informação; f) Cooperação entre cooperativas e g) Preocupação com a comunidade. (ROCHDALE, 2016)

Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology* - MIT) na década de 1970 e no início dos anos 80 (FOGEL, 2017). Por não querer escrever códigos que futuramente seriam bloqueados para uso comum, iniciou o Projeto GNU e a *Free Software Foundation*. A origem de GNU é o (meta) acrônimo "GNU is Not Unix". Unix é um sistema operacional comum na época, e GNU é o nome do sistema de software completo compatível com Unix que foi distribuído gratuitamente a todos que pudessem usá-lo. (STALLMAN, 1985 p.1)

O desenvolvimento de um sistema operacional completamente livre e aberto e *softwares* aos quais os usuários poderiam livremente compartilhar modificações era o objetivo do Projeto GNU. Com a *Free Software Foundation* o programador conseguiu aprovar uma licença de direitos autorais que garante que o código que ele fez será livre para sempre. Esta licença afirma que o código pode ser editado e modificado sem nenhuma restrição.

Sendo assim, com a ajuda de diversos programadores que compartilhavam da mesma ideia que Stallman, iniciou-se o projeto GNU. Entretanto, por dificuldades encontradas ao longo do projeto, houve um atraso na produção do sistema operacional livre, fazendo com que um estudante finlandês de Graduação de Ciências da Computação, Linus B. Torvalds, colocasse a disposição o primeiro sistema operacional totalmente livre, chamado de Linux.

Um *software* livre não significa que o mesmo não é comercial. Independe de como se teve acesso a este *software*, sempre se deverá ter a liberdade para copiá-lo e muda-lo e até vender cópias do mesmo. Segundo a *Free Software Foundation* (GNU, 2019) um *software* livre deve possuir quatro liberdades essenciais, sendo estas:

- a) A liberdade de executar o programa como você desejar, para qualquer propósito.
- b) A liberdade de estudar como o programa funciona, e adaptá-lo às suas necessidades. Para tanto, acesso ao código-fonte é um pré-requisito.
- c) A liberdade de redistribuir cópias de modo que você possa ajudar outros.
- d) A liberdade de distribuir cópias de suas versões modificadas a outros.

Desta forma, você pode dar a toda comunidade a chance de beneficiar

de suas mudanças. Para tanto, acesso ao código-fonte é um pré-requisito.

Criou-se em 1998, em Palo Alto (Califórnia), o termo *open source* (código aberto) após o anúncio do lançamento do código fonte Netscape por uma coligação de programadores que formaram a *Open Source Initiative* (OSI) a fim de aumentar a receptividade de um *software* livre pelas indústrias de desenvolvimento de *software* e pelo mercado consumidor (OSI, 2019).

Foram definidos dez requisitos a fim de considerar que um *software* seja considerado *open source*:

1. Distribuição livre;
2. Acesso ao código-fonte;
3. Permissão para criação de trabalhos derivados;
4. Integridade do autor do código-fonte;
5. Não discriminação contra pessoas ou grupos;
6. Não discriminação contra áreas de atuação;
7. Distribuição da licença;
8. Licença não específica a um produto;
9. Licença não restritiva a outros programas;
10. Licença neutra em relação à tecnologia.

A discussão a respeito de direitos intelectuais sobre *hardware* também já é bastante antiga. Jesiek (2003) ressalta a controvérsia no ano de 1999 sobre a decisão da empresa Intel (fabricante de *hardware*) em incorporar um número de série único em cada um dos processadores Pentium III fabricados. Supostamente o recurso de identificação teria sido projetado para fornecer uma camada extra de segurança às transações de comércio eletrônico e permitir os gerentes de tecnologia da informação rastrear computadores, no entanto, o código serial também poderia ser usado por profissionais de marketing, ou ainda por pessoas com intenções mais nefastas ao rastrear alguém. Este exemplo torna evidente que os interesses do mercado motivados pelos benefícios do comércio eletrônico, controle de estoque, pode colidir com outros valores sociais, como a privacidade. No caso específico, após pressão da mídia, a Intel desistiu do plano. (JESIEK, 2018)



Este altíssimo nível de controle que os fabricantes de *hardware* têm sobre propriedade intelectual, segundo Jesiek (2003), levou a formas alternativas de resistência, originadas em certas comunidades e baseadas na filosofia open source. Já em 2003 o autor citava que iniciativas de *hardware open source*, embora pouco conhecidas, já estavam em andamento há anos, com intenção explícita de retirar o controle do desenvolvimento de *hardware* das mãos dos interesses corporativos.

Mais recentemente, o conceito de IoT (recorrente em trabalhos relacionados à cidades e indústrias inteligentes e i4.0) trouxe para o mercado um conjunto de soluções de *hardware* e *software* inovadoras, muitas destas com grande potencial de mercado. Um bom exemplo seriam as novas iniciativas inspiradas na cultura *Open Source* (cultura do código livre, ou CCL), porém no campo de *hardware*, que surgiram a partir de uma iniciativa italiana de 2005 intitulada *Arduino* (2019). O *Arduino* é uma plataforma de computação física para construção de protótipos que possui como características: baixo custo, possibilidade de conexão de sensores e atuadores a sistemas lógicos digitais cuja programação se faz mediante um IDE (*Integrated Development Environment* ou ambiente de desenvolvimento de *software*) de licença livre e baseado em C/C++, uma linguagem de programação de alto nível<sup>33</sup>. (ARDUINO, 2019) Este movimento será melhor avaliado no capítulo 3.

Seguindo o sucesso do *Arduino*, várias plataformas baseadas na mesma ideia geral, intituladas de *open hardware* (ou *hardware* livre), se multiplicaram nos últimos anos e atualmente permitem que pessoas sem grandes conhecimentos de eletrônica possam desenvolver sistemas de controle, automação e comunicação cada vez mais complexos e de grande desempenho de processamento, comunicação, etc. Entre as diversas plataformas disponíveis no mercado, ressalta-se ainda a plataforma *Raspberry Pi* (2019), de maior performance computacional que os modelos tradicionais da iniciativa *Arduino*, e que além das funcionalidades típicas do *Arduino*, ainda pode funcionar como um computador *desktop* “comum”, rodando *Linux*.

Estas plataformas de *hardware* livre estão permitindo que produtos tecnológicos que até poucos anos atrás eram restritos a médias e grandes indústrias em função do custo possam ser oferecidas também a pequenas empresas, como é

---

<sup>33</sup> Em programação, uma linguagem de “alto nível” é uma linguagem mais próxima à linguagem humana, enquanto a programação de “baixo nível” trata de linguagem alheia à linguagem humana comum, e usualmente trata de combinações de bits de estado 0 ou 1.



o caso do CLP. Este equipamento é considerado um marco tecnológico da terceira revolução industrial, (GTAI, 2014 p.3) (MORAES, 2016 p.23) e até poucos anos atrás era comercializado apenas por grandes multinacionais do ramo, mas agora começa a ser oferecido também em versões baseadas em plataformas *open source* e com funcionalidades IoT por preços mais baixos que os modelos convencionais<sup>34</sup>. (INDUSTRIAL SHIELDS, 2017) (CONTROLLINO, 2017) (INDUSTRUINO, 2017) (UNIPI, 2017) (OPEN PLC, 2017) (PIXTEND, 2017)

Além de projetos parecidos e baseados em modelos de negócio análogos ao modelo utilizado pelo *Arduino*, ressalta-se também a criação das plataformas de desenvolvimento da Intel, um dos maiores fabricantes de chips eletrônicos do mundo, que desenvolveu, entre outras, a *Galileo Board*, uma plataforma de alta performance, mas que amargou um fracasso de mercado: teve a linha inteiramente descontinuada pelo fabricante (INTEL, 2019), o que evidencia tanto o interesse de grandes *players* neste mercado quanto a dificuldade destes em operar em uma lógica de mercado diferente da lógica capitalista usual.

### 2.3.4 Sistemas de inteligência artificial

A inteligência artificial (IA) procura fazer com que os computadores façam os tipos de coisas que as mentes podem fazer.

Algumas delas (por exemplo, raciocínio) são normalmente descritas como "inteligentes". Outros (por exemplo, visão) não são. Mas todos envolvem habilidades psicológicas - como percepção, associação, previsão, planejamento, controle motor - que permitem que humanos e animais alcancem seus objetivos.

A inteligência não é uma dimensão única, mas um espaço ricamente estruturado de diversas capacidades de processamento de informações. Assim, a IA usa muitas técnicas diferentes, abordando muitas tarefas diferentes.

E está em todo lugar. (tradução livre de BODEN, 2016 p.1)

Em um recente relatório da empresa de consultoria McKinsey (BUGHIN et. al, 2017), afirma que em 2016 empresas do mundo inteiro investiram um total de 26 a 39 bilhões de dólares em soluções de inteligência artificial (IA), sendo uma fatia de

---

<sup>34</sup> O artigo intitulado "O controlador lógico programável (CLP) sob licença de hardware livre: O futuro dos projetos de automação industrial?", escrito sob coautoria da Rafaela Scaciota Simões da Silva, aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CPGEI/UTFPR) trata deste tema e recebeu o prêmio Pinhão de Ouro 2019 na categoria "teórico" no dia 4 de novembro de 2019, durante o Congresso Internacional de Gestão, Projetos e Liderança (CIGPL 2019, organizado pelo PMI).

20 a 30 bilhões oriunda de empresas gigantes da área de tecnologia, como a Google e a Baidu. Estas cifras representam um crescimento de três vezes em relação a 2013. Evidências iniciais sugerem que a IA pode oferecer valor real aos adotantes e pode ser uma poderosa força disruptiva em termos de crescimento de lucratividade. Na pesquisa, os primeiros adotantes de IA, que combinam forte capacidade de digitalização com estratégias proativas têm maiores margens de lucro e esperam que a (já grande) diferença de desempenho em relação às outras empresas vá se ampliar ainda mais no futuro (BUGHIN et. al, 2017).

Outra questão extremamente pertinente ao tema da inteligência artificial diz respeito à quantidade de empregos disponíveis no mercado. Um relatório do fórum econômico mundial (WEF, 2016) estima que as tendências atuais podem levar a um impacto líquido no emprego de mais de 5,1 milhões de postos de trabalho perdidos por mudanças disruptivas no mercado de trabalho no período entre 2015 e 2020, sendo uma perda total de 7,1 milhões de empregos, (dos quais dois terços estão concentrados em trabalhos administrativos) e um ganho total de 2 milhões de empregos (distribuídos em várias modalidades de trabalho). (LEOPOLD et. al, 2016). Em um artigo intitulado "*The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?*" (FREY e OSBORNE, 2017) os autores estimam que cerca de 47% do total de empregos nos EUA está na categoria de alto risco, que significa que poderiam ser automatizados relativamente cedo, talvez durante a próxima década ou duas. Em 2016, no relatório intitulado "*The Future of the Jobs*", o Fórum Econômico Mundial previu que o advento de tecnologias associadas à i4.0 causaria uma redução (líquida) de mais de cinco milhões de empregos até 2020, sendo uma perda total de 7,1 milhões de empregos (dois terços dos quais na área de escritório/administrativa) e um ganho total de 2 milhões de novos empregos, com forte crescimento nas áreas de computação, matemática, arquitetura e engenharia. (LEOPOLD et. al, 2016 p. 13-14) O estudo foi realizado a partir de uma pesquisa que contemplou quinze economias desenvolvidas e emergentes, entre estas o Brasil. (LEOPOLD et. al, 2016)

Em um outro recente relatório da empresa de consultoria *McKinsey* (MANYIKA et. al., 2017) estima-se que a automação pode aumentar o crescimento da produtividade globalmente de 0,8 para 1,4 por cento ao ano e metade das atuais atividades de trabalho podem ser automatizadas até 2055, muito embora isso possa

acontecer 20 anos antes ou depois, dependendo de vários fatores associados a amplas possibilidades de condições econômicas (MANYIKA et. al., 2017 p.8).

Tais previsões suscitam preocupações com a segurança dos empregos, que poderiam inclusive limitar o crescimento do mercado de soluções de automação e AI através de impostos sobre robôs ou soluções similares, mas também suscitam futuras implicações geopolíticas relativas a prováveis alterações nas relações de poder entre países oriundas tanto da grande diferença de desempenho entre empresas (que tende a aumentar com o desenvolvimento de novas tecnologias) quanto das futuras políticas de contratação destas empresas e da consequente possibilidade de migração de trabalhadores em busca de emprego.

### 2.3.5 O *Blockchain* e suas possíveis aplicações

Uma tecnologia bastante específica e que se mostra dentro do contexto da quarta revolução industrial chama-se *blockchain*, e foi criada em 2008 por Satoshi Nakamoto (2008) através da publicação intitulada “*Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*” que definiu pela primeira vez o conceito de *blockchain* aplicando-o a uma moeda digital chamada *bitcoin*, baseada em redes *Peer-to-peer* (do inglês para-a-par ou simplesmente ponto-a-ponto, com sigla P2P) que basicamente cria uma espécie de gigantesco e crescente “livro razão” (na acepção contábil) de forma pública, compartilhada e universal que possibilita gerar consenso e confiança na comunicação direta entre as partes que operam uma transação sem que seja necessário o intermédio de partes terceiras, centralizadoras, usualmente instituições financeiras.

A base da tecnologia é uma função chamada *hash* é um algoritmo que mapeia dados de comprimento variável e os transforma em dados de comprimento fixo, chamados valores ou códigos *hash*, ou então simplesmente *hashes*, que no caso do *bitcoin* são gerados tanto a partir de informações de transações anteriores quanto das informações da transação atual, criando um código *hash* válido. Grupos de registros de transação de *bitcoins* (códigos *hash*) são representados dentro de um bloco, cuja conexão válida com o *blockchain* restante deve ser verificada e aprovada pelo algoritmo. O algoritmo para geração do código *hash* do bitcoin é o SHA-256. (NAKAMOTO, 2008).

Outra diferença em relação às moedas tradicionais diz respeito à “mineração”: novos bitcoins são criados em todo o mundo por “mineiros” privados, que fornecem o processamento necessário para criação de códigos *hash* válidos e recebem *bitcoins* em troca disso. Ou seja: “verificam” as transações de bitcoin entre os usuários, ou seja, a transferência de *bitcoins* de uma conta para outra. Para isso, os mineiros precisam saber sobre transações já realizadas, que são coletadas no chamado *blockchain*. Durante o processo de verificação, a nova transação é incluída no *blockchain*. Portanto, os mineiros fornecem a espinha dorsal da infra-estrutura do sistema *bitcoin*. (MÖBERT, 2018 p.3)

*Proof of work* (POW) é o nome dado para verificação. POW são dados custosos e demorados para produzir, pois esbarram em limites computacionais. Para se ter uma ideia, o mecanismo de geração de POW do *bitcoin* consome anualmente 61,4 TWh, o que equivale a 1,5% da eletricidade consumida nos Estados Unidos (LEE, 2019).

Desenvolvedores e programadores estão no centro do *bitcoin*, através da criação coletiva de um código-fonte aberto. A comunidade administra e mantém o protocolo *bitcoin*, ou seja, as regras codificadas do sistema. A comunidade *bitcoin*, em particular desenvolvedores e mineradores, pode adaptar ou rejeitar emendas propostas ao protocolo em uma votação democrática. A principal inovação na qual o sistema se baseia é sua estrutura de incentivo, que recompensa os programadores, mineiros e usuários pelo cumprimento das regras. Portanto, não há necessidade de fiscalização. Mesmo que a estrutura de incentivos tenha suas fraquezas na teoria, a estabilidade do sistema na prática excedeu todas as expectativas. (MÖBERT, 2018 p.3)

No trabalho “*On the Philosophy of Bitcoin/Blockchain Technology: Is it a Chaotic, Complex System?*” (DOS SANTOS, 2017) o autor concluiu que o ecossistema do *blockchain*, formado pelos blocos do sistema, pelos usuários finais de bitcoin (pagantes e beneficiários), pelos mineiro, demais agentes e suas interações, que mantêm seu “livro razão” distribuído e funcionando, podem ser considerados algoritmos complicados, mas dificilmente um sistema complexo e portanto é improvável que o mesmo entre em um regime caótico. No entanto o autor faz a ressalva de que cenários parecidos com cenários caóticos poderiam ocorrer em virtude de usuários com intuito exclusivamente especulativo.

Ainda, segundo o autor, baseando-se na resiliência e irreversibilidade do *blockchain*, os usuários podem manter com segurança a gravação de diversos documentos digitais, como por exemplo a emissão de identificação digital para refugiados já em uso na Europa para permitir que refugiados criem identificações digitais que possam ser usadas para provar criptograficamente sua existência, quais são suas famílias, e para que recebam e gastem dinheiro sem contas bancárias.

Em suma, mais do que apenas mais uma nova unidade alternativa de conta, a real singularidade do *Bitcoin* consiste em fornecer um sistema para transações eletrônicas que não depende de confiança mútua (NAKAMOTO, 2008) e que pode ser utilizada para diversos fins.

Entre os projetos financiados por via das plataformas de *crowdfunding*, pode-se destacar a iniciativa “*The DAO*”<sup>35</sup>, definida como uma organização dirigida sem interveniência humana, através de um conjunto de regras incorruptíveis de negócios, operadas por via de códigos computacionais, com o objetivo de investir em outros negócios, tal qual um fundo de investimento de capital de risco, porém sem uma estrutura de diretores convencional. (THE DAO, 2016)

Muito embora o exemplo mais famoso de moeda digital dirigida sem interveniência humana seja o *Bitcoin* (HORN, 2016), a primeira moeda digital do mundo completamente descentralizada e baseada em código aberto (*open source*), que até pouco tempo atrás era confinada a um punhado de entusiastas em fóruns na *Internet* e atualmente já é maior do que as economias de algumas das menores nações do mundo, e cujo mercado atual é estimado em mais de um bilhão de dólares (BRITO, 2013), a iniciativa “*The DAO*” utiliza outro modelo de moeda digital, chamada *Ether*, que é administrada por uma plataforma chamada *Ethereum*, completamente descentralizada que executa contratos inteligentes: aplicativos que são executados exatamente como programados sem qualquer possibilidade de *downtime*, censura, fraude ou interferência de terceiros baseada em *blockchain*<sup>36</sup> (ELEUTHEREUM, 2106).

---

<sup>35</sup> *Decentralized autonomous organization* (DAO), também conhecida como *decentralized autonomous corporation* (DAC), é uma organização que opera através de regras de negócio definidas por programas de computadores, chamados *smart contracts*.

<sup>36</sup> *Blockchain*, que poderia ser traduzido para “cadeia de blocos” é um banco de dados distribuído que mantém uma lista continuamente crescente de registros de dados endurecido contra a manipulação e revisão onde cada bloco contém um *timestamp* (cadeia de caracteres denotando a hora ou data que certo evento ocorreu) e informações ligando-o a um bloco anterior.

A iniciativa *The DAO* já deteve o recorde de maior projeto já financiado via *crowdfunding* no mundo, com mais de US\$ 162 milhões de dólares de investimento (THE DAO, 2016) e especula-se que passe de US\$200 milhões (CHAVEZ-DREYFUSS, 2016). Por se tratar de uma iniciativa apátrida, a mesma não está vinculada a qualquer Estado-nação particular, e como resultado, as questões de como os reguladores dos governos vão lidar com um fundo de investimento de risco com estas características ainda não foram estabelecidas.(POPPER, 2016)(THE ECONOMIST, 2016)

### 2.3.6 Laboratórios vivos (*Living Labs*)

Muito embora o conceito dos *Living Labs* (LL) já tenha sido praticado desde a década de 90 nos Estados Unidos e na Europa para trazer maior envolvimento dos usuários no desenvolvimento de soluções tecnológicas, (OLIVEIRA e BRITO, 2013) (LITVIN et al., 2015) as publicações científicas a respeito do tema só se avolumaram a partir de 2015 (HOSSAIN et al., 2019).

Os LLs são definidos pela *European Network of Living Labs* (EnoLL) como sendo ecossistemas de inovação aberta (*open innovation*) centrados no usuário, com base na abordagem sistemática de cocriação pelos usuários, integrando processos de pesquisa e inovação em comunidades e contextos da vida real. (ENOLL, 2019)

Um laboratório vivo é, portanto, um espaço físico ou virtual para resolver os desafios da sociedade, especialmente em áreas urbanas, reunindo várias partes interessadas para colaboração e ideação coletiva. (HOSSAIN et al.,2019)

O conceito de LL está diretamente relacionado a dois paradigmas: *Open Innovation* e *User Innovation* (HOSSAIN et al.,2019)

*Open Innovation* é um conceito que se refere a um fluxo aberto de inovação que preza a conexão e cooperação em rede entre vários parceiros ao invés de ancorar as práticas a um departamento de P&D fechado e focado na competição, usualmente realizado entre instituições. (RAHMAN e RAMOS, 2010)

*User Innovation* refere-se à inovação gerada por usuários intermediários (por exemplo, empresas usuárias de alguma solução) ou usuários consumidores (usuários finais individuais ou comunidades de usuários), ao invés de fornecedores (produtores ou fabricantes). Este é um conceito estreitamente alinhado ao co-design,

e provou resultar em soluções mais inovadoras do que as metodologias tradicionais. (MITCHELL, 2015) As principais características de um LL são: (HOSSAIN et al.,2019)

- Ambiente de experimentação com abordagem na "vida real" e em experiências tácitas;
- Participação de diversos stakeholders envolvendo pessoas e entidades públicas e privadas;
- Realização de atividades como testes, validações, experimentações e co-criações;
- Vários tipos de modelos de negócios e estruturas em rede, usualmente explorando a viabilidade de modelos de negócio de soluções complexas em contextos da vida real;
- Métodos, ferramentas e abordagens específicas, tais quais coleta e análise de dados, pesquisa etnográfica, questionários ou grupos e observação para validar tecnologias e facilitar o desenvolvimento de produtos e serviços de acordo com as necessidades dos usuários.
- Desafios como temporalidade, governança, imprevisibilidade de resultados, eficiência dos processos, recrutamento do grupo de usuários e sustentabilidade/escalabilidade das inovações;
- Resultados diversificados, como inovações tangíveis (produtos, protótipos, soluções, sistemas, etc.) e intangíveis (como propriedade intelectual) na maioria das vezes incrementais (mas que também podem ser radicais);
- A sustentabilidade é considerada relevante nos níveis individuais, organizacionais, sociais e governamentais, e o foco dos LL usualmente é em produtos e serviços sustentáveis.

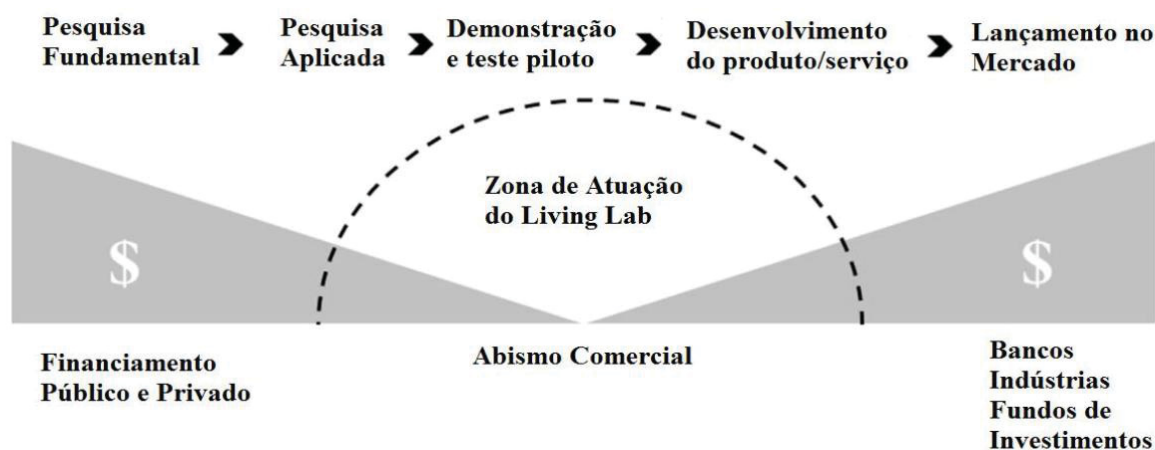
Os LL têm oferecido vários benefícios para as empresas, sociedades e usuários. Além disso, apoiam as partes interessadas integrando questões de formulação de políticas e desenvolvimento de negócios. Um uso amplo do LL aumenta a inclusão e a utilidade de suas aplicações na sociedade. Assim, laboratórios vivos são vitais para transformar a geração de conhecimento cotidiana em modelos, métodos e teorias. (HOSSAIN et al.,2019)



Os LL são uma solução com potencial para solucionar problemas complexos e atuam gerando pontes entre os estágios de pesquisa e os estágios de lançamento no mercado de produtos ou serviços. (MAZZUCO e TEIXEIRA, 2017)

A figura 13 (MAZZUCO e TEIXEIRA, 2017) ilustra a principal zona de atuação dos LL, mostrando a sequência típica de atividades na parte superior e as formas de financiamento típicas de cada etapa de desenvolvimento na parte inferior (também ilustrados pelos triângulos cinzas). Ao centro o "abismo comercial" retrata a lacuna na qual o LL se insere como possível solução.

FIGURA 13 – PRINCIPAL ZONA DE ATUAÇÃO DOS LIVING LABS



Fonte: MAZZUCO e TEIXEIRA, 2017

Os principais *stakeholders*<sup>37</sup> dos LL são de universidades e os setores público e privado. O quadro 6 relaciona as principais áreas de atuação destes stakeholders segundo Mazzuco e Teixeira (2017).

Para operação de um LL são necessárias várias atividades de gestão por parte do “orquestrador do LL”. O orquestrador de um LL é a parte que obteve uma posição central na estrutura da rede e que usa sua proeminência e poder de realização no exercício de um papel de liderança na integração dos recursos e capacidades dispersos entre os membros da rede. (SILVA, 2015)

<sup>37</sup> Indivíduos ou grupos que possuem interesse ou participação no negócio.



QUADRO 6 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DOS LL

<i>Stakeholder</i>	<i>Área de Atuação</i>
<b>Universidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa inicial sobre a infraestrutura e a implementação do <i>Living Lab</i>.</li> <li>• Colaboração com o governo na busca por fundos.</li> <li>• Desenvolvimento de serviços/produtos que serão testados nos <i>Living Labs</i>.</li> </ul>
<b>Setor Privado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colaboração com o governo quanto ao financiamento de projetos.</li> <li>• Comercialização de produtos/serviços.</li> <li>• Colaboração com universidades e governo quanto às pesquisas necessárias.</li> </ul>
<b>Setor Público</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financiamento inicial para o estabelecimento da infraestrutura do <i>Living Lab</i>.</li> <li>• Apoio financeiro ao longo do processo para estimular a inovação e os testes no <i>Living Lab</i>.</li> </ul>

Fonte: MAZZUCO e TEIXEIRA, 2017

No quadro 7 estão relacionadas algumas atividades levantadas pela literatura, suas respectivas tarefas e, na última coluna, algumas evidências empíricas do trabalho intitulado “Um Estudo Exploratório sobre Orquestração em *Living Labs* Brasileiros”. (SILVA, 2015) O estudo foi baseado nos projetos brasileiros cadastrados na EnOLL, num total de treze, no entanto atualmente apenas um projeto brasileiro (*Habitat Living Lab* de Vitória, ES) se encontra atualmente ativo segundo o site da instituição. (ENOLL, 2019)

No estudo intitulado “Gestão de recursos relacionais para o desenvolvimento de inovações sociais em Living Labs: O caso do *Habitat Living Lab* de Vitória, ES-Brasil”, (SILVA e BITENCOURT, 2018) o foco do trabalho se mostra na “gestão dos recursos relacionais”, neste caso, tratando a gestão do “modo de relacionamento” como um recurso. Os recursos relacionais levantados são três:

- Parceiros: O orquestrador deve facilitar que os membros da rede interajam, criem confiança, estabeleçam relações de longo prazo e consigam agir colaborativamente.
- Estrutura de colaboração: O orquestrador deve facilitar a organização dos membros da rede para a discussão dos temas de interesse comum, desde o planejamento até a implementação das iniciativas e sua posterior avaliação.
- Modo de relacionamento: O orquestrador deve facilitar a adoção e implementação de processos participativos e colaborativos para a reação organizada as necessidades identificadas.

QUADRO 7 – ATIVIDADES TÍPICAS EM LIVING LABS

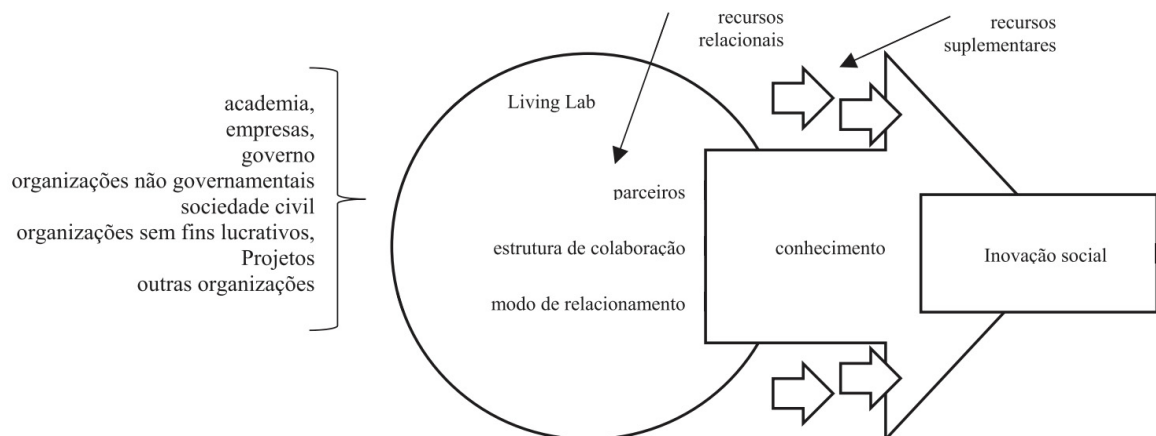
Atividades	Tarefas	Evidências empíricas do estudo de caso
Gestão da mobilidade do conhecimento	Absorção do conhecimento	Definição e execução de rotinas voltadas à identificação, assimilação e exploração das ideias compartilhadas.
	Identificação da rede	Reforço da identidade comum entre os membros da rede com o intuito de motivá-los a participar e compartilhar abertamente suas ideias.
	Socialização interorganizacional	Promoção de fóruns e canais de comunicação formal e informal dentro e fora da rede, visando melhorar a socialização de ideias.
Criação de valor e gestão da apropriação	Confiança	Construção de sólida confiança a partir de uma comunicação clara e transparente.
	Justiça processual	Procuram engajar os melhores esforços dos agentes e, para isso, buscam a equidade e a consistência no processo decisório.
	Posse de bens conjunta	Intenção de que a posse dos recursos seja conjunta, pois permitiria o engajamento dos agentes e a criação de um contexto comum para resolução de problemas.  Há diferentes tipos de inovação social sendo geradas, sendo que algumas necessitam de proteção intelectual, visando garantir, aos inventores ou responsáveis, o direito de auferir, ao menos por um determinado período de tempo, recompensa pela própria criação.  Asseguram o compartilhamento de ideias de modo eficaz como forma de evitar o ceticismo dos agentes e aumentar a disposição de compartilhamento de recursos de sua propriedade.
Manutenção da estabilidade da rede	Reforço à reputação	Por meio da sua inserção na ENoLL (2012), obtêm sua legitimação, além de intencionar o acesso a fontes de recursos específicas.  São identificadas estratégias individuais que proporcionem o efeito de sinalização de confiabilidade, tornando-se significativas para atrair novos parceiros e obter novos recursos.
	Alongamento da “sombra do futuro”	Em longos horizontes de tempo, interações frequentes e alta transparência encorajam o comportamento recíproco na rede.
	Construção de multiplexidade	Os agentes são estimulados a interagirem de forma mais ampla e profunda uns com os outros, reforçando os propósitos da rede.

Fonte: SILVA, 2015

O mesmo estudo (SILVA e BITENCOURT, 2018) traz ainda um diagrama, formulado a partir das constatações empíricas da experiência, que procura ilustrar a dinâmica de um LL, trazendo na esquerda alguns atores envolvidos, um círculo

representando o âmbito no qual são necessários os recursos relacionais e destacando o conhecimento como principal recurso para atingimento do objetivo principal, que é a inovação social. Este diagrama é representado a seguir, na figura 14.

FIGURA 14 – DIAGRAMA DA DINÂMICA DE UM LL A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS



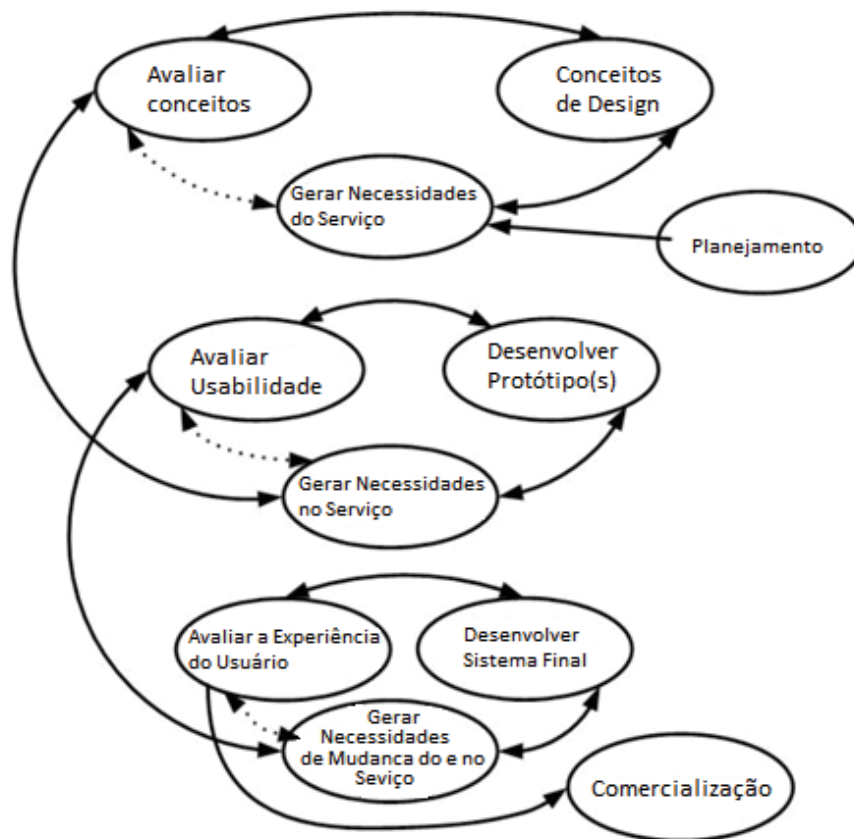
Fonte: SILVA e BITENCOURT, 2018

A título de exemplo, na figura 15 (BERGVALL-KÅREBORN e STÅHLBRÖST, 2009) está ilustrado uma metodologia chamada *FormIT*, cuja aplicação é o desenvolvimento de sistemas e tem uma abordagem por meio de LLs.

O método *FormIT* é interativo<sup>38</sup> onde a interação com os usuários é um pré-requisito conhecido. A ideia é que o conhecimento aumente através das interações iterativas entre fases e pessoas com competências e perspectivas diversificadas. (BERGVALL-KÅREBORN e STÅHLBRÖST, 2009)

<sup>38</sup> Que serve para iterar, ou seja, ser repetido. Diferente de interação, que interage, ou seja, pressupõe comunicação mútua (em dois sentidos).

FIGURA 15 – DIAGRAMA DA METODOLOGIA FORMIT PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS



Fonte: Tradução livre de SILVA e BITENCOURT, 2018

### 3 O FENÔMENO DA I4.0 COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

O capítulo de desenvolvimento contempla inicialmente um item (3.1) que inclui a implementação da metodologia *Acatech* para melhor contextualização e imersão do pesquisador no conceito de i4.0 (subitem 3.1.1), seguido de uma breve discussão sobre as tendências de utilização de termos associados (subitem 3.1.2). Na sequência do trabalho, são realizadas algumas considerações sobre as relações entre os ODS, o fenômeno da i4.0 e a crise ambiental (item 3.2), e por fim elenca iniciativas associadas aos modelos do capítulo 2.3, que possuem em comum tanto uma grande aderência aos elementos associados ao fenômeno da i4.0 quanto potencial para fazer frente à crise ambiental (item 3.3).

### 3.1 ESTUDO ILUSTRATIVO E TENDÊNCIAS DA I4.0

Inicialmente este capítulo contempla uma descrição sobre a implementação de uma pesquisa, realizado em uma indústria de desenvolvimento de tecnologia na área da eletrônica (subitem 3.1.1) assim como uma pesquisa a respeito da utilização de termos associados ao fenômeno da i4.0 (subitem 3.1.2)

#### 3.1.1 Estudo ilustrativo: medição de maturidade i4.0<sup>39</sup>

Um estudo de caráter ilustrativo foi realizado para avaliar a percepção de colaboradores-chave de uma indústria de desenvolvimento de tecnologia eletrônica sobre capacidades relacionadas ao fenômeno da i4.0 frente à crise ambiental e também para validar a pertinência destas capacidades em situações reais. O trabalho consistiu na aplicação da metodologia *"Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY)"* para medição da maturidade da empresa em relação a capacidades associadas à i4.0. (SCHUH et al., 2017)

Conforme detalhado no capítulo 1.3.4, a metodologia contempla etapas de diagnóstico, análise, e planejamento de ações, no intuito de implementar “capacidades associadas à i4.0” nas diversas áreas organizacionais de uma indústria, e assim colaborar com o processo de transformação digital da empresa.

A indústria participante da pesquisa é da área de tecnologia eletrônica e possui cerca 80 funcionários, dos quais mais de um terço trabalha com desenvolvimento de tecnologia. O faturamento da empresa em 2018 foi de R\$ 60 milhões, e a mesma é líder de mercado em seu segmento. Por questões de sigilo, não serão publicadas maiores informações sobre a indústria ou sobre os resultados das medições realizadas.

A primeira etapa do trabalho foi desenvolver as 27 perguntas a partir das recomendações que constam na metodologia adotada (vide capítulo 1.3.4). Todas as perguntas foram formuladas pelo autor do trabalho incluindo opções numeradas

---

<sup>39</sup> Esta pesquisa foi o assunto de um artigo finalista do prêmio Pinhão de ouro 2019, organizado pelo PMI (*Project Management Institute*) Paraná *Chapter*. O artigo “Por onde começar? Estudo de caso de medição de índice de maturidade “i4.0” em uma indústria de tecnologia eletrônica”, escrito pelos alunos do PPGMADE Marcos Alfred Brehm e Fernando do Rego Barros Filho e pelo professor Carlos Henrique Coimbra Araújo, foi finalista na categoria “empírico”

de 0 a 6, que representam os diferentes níveis de evolução da “maturidade i4.0” adotados pela metodologia e mais um nível “zero”, conforme já descrito. Nesta etapa as perguntas também foram testadas e validadas junto a terceiros não envolvidos, no intuito de evitar erros ortográficos, evitar perguntas com eventuais interpretações dúbias e estimar o tempo de resposta. O tempo de resposta foi de cerca de 10 minutos por etapa, num total de 4 etapas.

Pelo *QR code* mostrado na figura 16 é possível acessar um documento com todas as perguntas desenvolvidas e apresentadas no formulário de pesquisa, com alguns comentários sobre cada tema, todos baseados no conteúdo da metodologia *Acatech*. (SCHUH et al., 2017)

FIGURA 16 – QR-CODE COM O LINK<sup>40</sup> PARA O QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA.



Fonte: Autor, 2019

A segunda etapa do trabalho envolveu basicamente o planejamento das ações junto o responsável da empresa (reunião 0), a saber:

- a) Definição da dinâmica e número de reuniões;
- b) Definição dos funcionários participantes (escolha racional);
- c) Definição da agenda de reuniões;
- d) Apresentação e validação da metodologia junto ao responsável da indústria.

A terceira etapa contemplou a apresentação da metodologia aos respondentes e a aplicação dos questionários de medição, todos aplicados através

---

<sup>40</sup> <https://drive.google.com/file/d/1m2OasrqkPFZ2S80WzbX3cgJh1ZsMblv4/view>

do sistema *Google Forms*<sup>41</sup>. Para a etapa de medição, foi definido que a pesquisa seria dividida em outras duas etapas: em um primeiro momento as áreas 1 (Recursos) e 2 (Sistemas de informação) e em um segundo momento as áreas 3 (Estrutura organizacional) e 4 (Cultura).

Ainda, foi definido que por ocasião do lançamento da pesquisa das áreas 3 e 4 fossem divulgados os resultados das etapas anteriores, para que o formulário de pesquisa não se tornasse demasiadamente cansativo e também para que os respondentes tivessem resultados parciais antes do término do trabalho, de forma a incentivar uma maior participação da equipe. Esta etapa contemplou duas reuniões presenciais com os participantes e seguiu a seguinte ordem:

- a) Apresentação dos conceitos de i4.0 e da metodologia a ser adotada aos respondentes (reunião 1);
- b) Apresentação dos dois primeiros eixos de avaliação e lançamento dos questionários 1 e 2 (reunião 1);
- c) Apresentação dos resultados dos questionários 1 e 2 (reunião 2);
- d) Apresentação dos dois últimos eixos de avaliação e lançamento dos questionários 3 e 4 (reunião 2);

A maior parte dos participantes respondeu positivamente quando questionados a respeito da qualidade das perguntas dos questionários, destacando a pertinência das mesmas. Não houve qualquer crítica substancial ao projeto piloto neste sentido.

A etapa final contemplou uma reunião para apresentação dos resultados das medições, seguido de um período de coleta de sugestões de ações norteadas pelos resultados das medições e de coleta de impressões gerais sobre o trabalho realizado. Por fim, houve a preparação de um documento de entrega final agregando todos os resultados e informações levantadas. As atividades da última etapa, portanto, foram as seguintes:

- a) Avaliação de todos os dados gerados na pesquisa e apresentação resultados gerais aos respondentes (reunião 3);

---

<sup>41</sup> Ferramenta gratuita que permite a criação rápida de formulários de pesquisa *online*.



- b) Coleta de propostas de ação a partir destes resultados e de impressões gerais sobre o trabalho realizado (reunião 3);
- c) Organização dos resultados, das propostas em um documento de entrega final;

A etapa de coleta de sugestões foi focada nos itens que tiveram um resultado pior nos seguintes critérios (muito embora também tenha sido aberta à possibilidade de se enviar sugestões sobre outros itens):

- 1) Média de conceito muito baixa;
- 2) Desvio padrão mais elevados.

As sugestões coletadas compuseram o relatório final entregue à empresa, que também incluiu uma breve explanação sobre a metodologia adotada e os resultados de todas as etapas contendo gráficos (como o do exemplo da Figura 5) e considerações finais.

A partir dos resultados foi possível perceber que certas capacidades da empresa de fato foram consideradas baixas por todos os respondentes, o que equivale a um padrão de “achatamentos” do modelo apresentado no gráfico da Figura 7. Os respondentes da pesquisa também se mostraram satisfeitos em relação ao método adotado e em relação à qualidade das perguntas, de acordo com suas considerações incluídas nos formulários de pesquisa. A metodologia adotada se revelou adequada ao objetivo proposto, tendo sido inclusive observado um resultado já previsto no início do projeto em relação à uma das áreas mensuradas (para a qual já haviam sido iniciados planos de ação), o que indica, de certa maneira, a efetividade e assertividade do método.

As considerações positivas dos respondentes acerca da dinâmica realizada e da qualidade das perguntas utilizadas também suscitam que a metodologia adotada possui bom potencial como ferramenta de desenvolvimento estratégico, que poderia ser adotada de forma cíclica pelas empresas para definição e atualização de um *RoadMap* de transformação digital.

Observa-se, no entanto, a falta de quesitos de medição relacionados a práticas mais sustentáveis nas empresas, pois não são associadas à evolução das capacidades de resposta da empresa (mote da metodologia adotada).



### 3.1.2 Tendência de utilização de novos termos

Independente dos rigores científicos envolvidos nos conceitos, o número de publicações científicas sobre temas relacionados à i4.0 cresceu substancialmente desde o ano de 2011 (SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018 p.3) (KAMBLE et al., 2018 p.410), assim como o número de pesquisas em motores de busca sobre os assuntos “Indústria 4.0” e “Quarta Revolução Industrial”, conforme pode ser percebido a partir da figura 17 (GOOGLE, 2019) pelo qual é possível avaliar o interesse de pesquisa (via *Google*) nestes termos de pesquisa no mundo (cujos dados estão disponíveis pelo *Google Trends*) ao longo do período compreendido entre janeiro de 2011 a janeiro de 2020.

A respeito da popularização destes termos, a figura 17, apresentada a seguir, contempla quatro curvas: A curva (contínua) em verde representa o nível de interesse sobre o assunto “Indústria 4.0” (*Industry 4.0*) ao longo do tempo; a curva (contínua) em azul representa o nível de interesse em pesquisas sobre o assunto “Quarta Revolução Industrial” (*Fourth Industrial Revolution*) ao longo do tempo; e as retas pontilhadas em verde e azul representam, respectivamente, as linearizações das duas curvas anteriores a partir do método dos mínimos quadrados<sup>42</sup>.

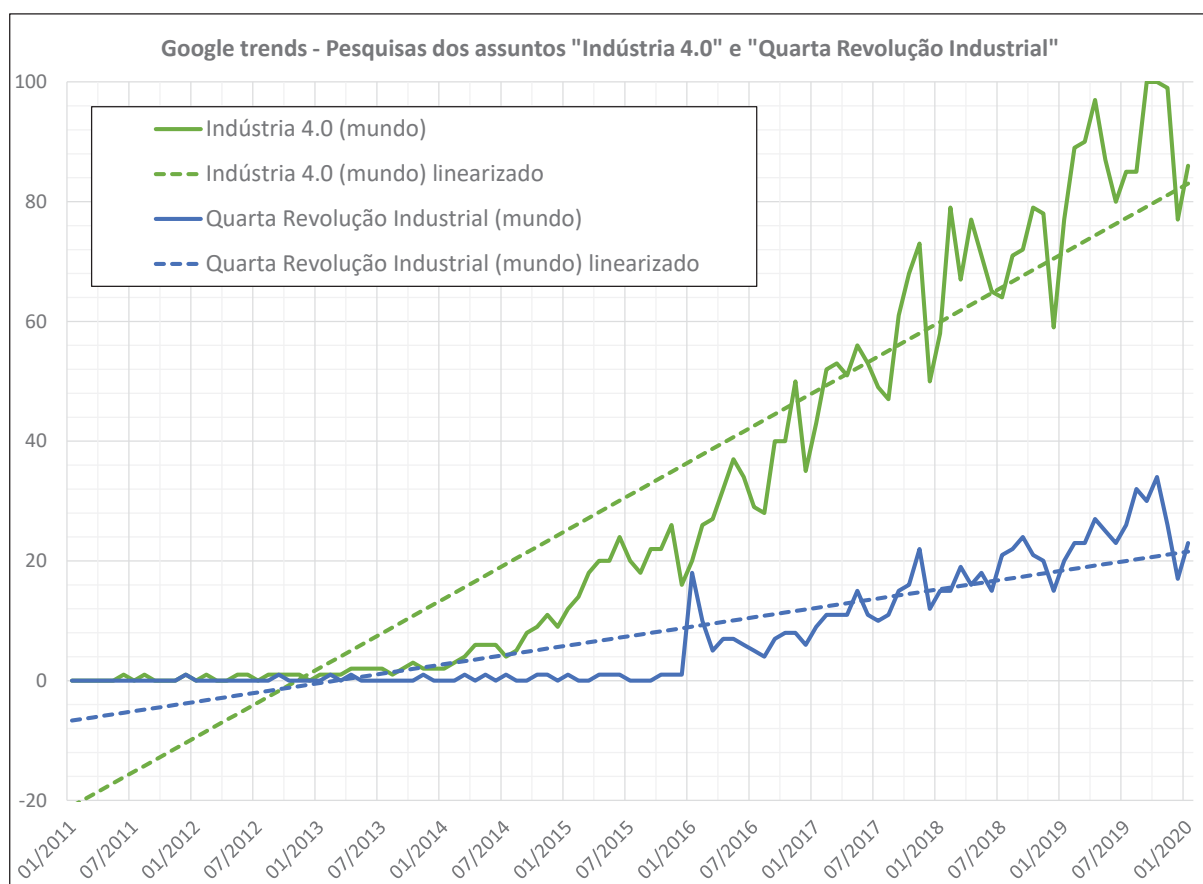
A taxa média de crescimento do interesse nestes assuntos de pesquisa neste período foi estimada como +0,96% ao mês para o termo “Indústria 4.0”, e +0,26% ao mês para o termo “Quarta Revolução Industrial”. Se a mesma análise fosse realizada somente a partir de janeiro de 2016, as taxas subiriam para +1,46% ao mês e +0,46% ao mês, respectivamente, o que evidencia um aumento ainda mais intenso nos últimos 4 anos.

Esta tendência é corroborada pelo levantamento de publicações sobre o tema realizado pelo estudo “*A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018*”, que também indica um claro aumento das publicações sobre o tema da i4.0 a partir de 2012, coincidentemente com uma taxa de crescimento mais expressiva a partir de 2014. (DE FELICE et. al, 2018 p.1645)

---

<sup>42</sup> O Método dos Mínimos Quadrados é uma técnica que procura encontrar a reta que melhor se ajusta a um conjunto de dados, a fim de minimizar o erro entre os valores estimados e os dados observados.

FIGURA 17 – INTERESSE DE PESQUISA NOS ASSUNTOS “INDÚSTRIA 4.0” (*INDUSTRY 4.0*) E “QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL” (*FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION*) VIA GOOGLE NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE JANEIRO DE 2011 A ABRIL DE 2019.



FONTE: Autor, a partir dos dados do *Google Trends* (GOOGLE, 2019)

### 3.2 OS ODS E A I4.0 FRENTE À CRISE AMBIENTAL

Nesta seção será discutida a relação dos ODS frente a crise ambiental e as ideologias que conduziram este discurso, na sequência serão levantadas possíveis relações entre as ODS e elementos da i4.0 e por fim será apresentado um exemplo, a título ilustrativo, da visão de funcionários da indústria de tecnologia objeto da pesquisa relatada no subitem 3.1.1 a respeito da relação entre crise ambiental e i4.0.

O conteúdo de algumas dos ODS se mostra bastante discutível do ponto de vista ambiental quando olhados pela ótica da corrente crítica humanista, quando esta propõe um novo modelo de ordem econômica internacional; ou da corrente ecologista conservacionista, que propõe a ideia de "crescimento zero".

Afinal, o termo "crescimento econômico" aparece de forma expressa no ODS número 8, e mais especificamente em seu item 8.3: "Promover políticas orientadas para o desenvolvimento que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego

decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros" (ONU, 2015), que suscita a ideia de uma eterna necessidade de crescimento econômico e de novos estágios de industrialização em nome da "sustentabilidade".

O mesmo ODS, em seu item 8.1, fala expressamente em um crescimento de pelo menos 7% do produto interno bruto (PIB) em países menos desenvolvidos (ONU, 2015). Aparentemente só o crescimento econômico poderia levar a humanidade à sustentabilidade ambiental, muito embora os fatos históricos indiquem justamente o contrário: períodos de maior crescimento econômico mundial são períodos nos quais há maior consumo de recursos, e, conseqüentemente, maior danos ambientais.

O estudo "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as Empresas Participantes do Mercado Acionário Brasileiro" analisou características organizacionais de empresas participantes do mercado acionário brasileiro que seriam determinantes para evidenciar o uso de informações relacionadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em seus relatórios (SHIO et al., 2019 p.3). Os resultados obtidos indicam que as empresas tiveram um aumento relevante no número de menções aos ODS entre os anos de 2016 e 2017 (SHIO et al., 2019 p.16).

Empresas com negócios internacionais (vendas para o exterior), apresentaram um posicionamento mais favorável de vincular suas atividades com as metas da Agenda 2030. Este achado pode estar relacionado a questão reputacional das organizações, tendo em vista que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável favorecem a boa reputação das organizações, reforçando a confiança com seus *stakeholders*, o que por sua vez facilita os negócios entre as organizações. Nesse sentido, o Pacto Global das Nações Unidas aduz que empresas que alinham suas prioridades com ODS reforçam seu compromisso com os clientes, funcionários e outras partes interessadas, sendo que aquelas que não o fazem ficam expostas a maiores riscos legais, de reputação e até de sobrevivência (SHIO et al., 2019 p.16-17).

Assim, muito embora alguns pontos dos ODS sejam bastante discutíveis, tem-se que atualmente estes representam a realidade das empresas no que se refere à políticas de sustentabilidade (quando estas existem). Tem-se, portanto, um cenário no qual a corrente desenvolvimentista, representada pelos ODS, é a principal base para ações mais sustentáveis (ou menos insustentáveis) em

empresas no Brasil e no mundo, e portanto será através destes conceitos que os modelos de desenvolvimento apresentados no capítulo 2.3 serão avaliados.

E de que forma os ODS poderiam se relacionar com os preceitos da i4.0? Neste sentido, o trabalho *“Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company”* (BRACCINI e MARGHERITA, 2019) é bastante esclarecedor. Para formar um entendimento preliminar sobre o assunto, a obra avalia 16 publicações sobre o tema, filtradas de um rol de 34 estudos empíricos elencadas a partir de palavras chave associadas tanto à sustentabilidade ambiental quanto ao fenômeno da i4.0 (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.4).

No estudo foram avaliadas características da i4.0 associadas às três dimensões do *“Triple Bottom Line”* (TBL), e os resultados desta avaliação são mostrados no quadro 8, no qual é possível perceber que: Não foi encontrado nenhum estudo empírico que relacione características da i4.0 nas três dimensões simultaneamente; a dimensão econômica foi a mais mencionada. No quadro 8, cada linha representa um diferente estudo avaliado.

A partir destas características, extraídas de estudos empíricos, os autores definem as principais trajetórias de projetos associados ao fenômeno da i4.0 que propõem algum tipo de melhoria em alguma das três dimensões do TBL, conforme pode ser observado na figura 18.

O impacto sobre a dimensão econômica do seria o resultado da maior flexibilidade e eficiência dos processos, e a conseqüentemente melhora do desempenho econômico. A trajetória sobre a dimensão ambiental aproveita a quantidade e granularidade de dados produzidos pela tecnologia digital, que teriam potencial para propiciar um uso mais sustentável de recursos. Por fim, a trajetória sobre a dimensão social é associado à evolução da automação, que teria potencial para melhorar as condições de trabalho a partir de capacidades da i4.0 (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.5-6)

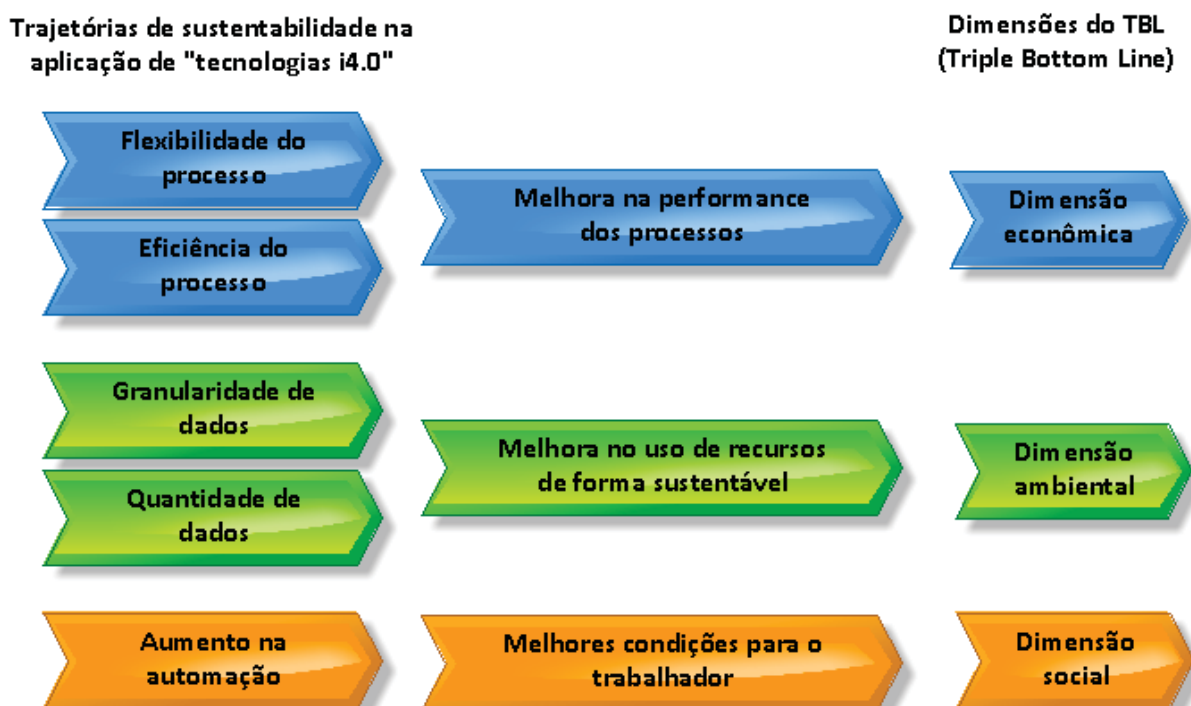
QUADRO 8 – CARACTERÍSTICAS DA I4.0 ASSOCIADAS AOS ODS EM CADA UMA DAS DIMENSÕES DO TBL

Dimensão econômica	Dimensão Ambiental	Dimensão social
Gerenciamento de estoque para reduzir a imprecisão do inventário	Não encontrada	Não encontrada
Gerenciamento da cadeia de suprimentos para melhorar a eficiência e efetividade	Não encontrada	Não encontrada
Sistema de gerenciamento de armazém para melhorar a produtividade	Não encontrada	Aumento da moral dos empregados
Sistemas de separação e preparação de pedidos para aumento da eficiência	Não encontrada	Não encontrada
Sistemas de agendamento em tempo real	Reutilização de materiais	Não encontrada
Mineração de dados para melhorar o ciclo de fabricação do produto	Não encontrada	Não encontrada
Modelo de análise para manter a eficiência técnica	Modelo analítico para prever o consumo de energia	Não encontrada
Monitor de energia contínuo para reduzir custos de energia	Redução na emissão de CO <sub>2</sub>	Não encontrada
Análise preditiva para reduzir erros de produção	Não encontrada	Não encontrada
Agilidade operacional, melhoria de competitividade	Não encontrada	Redução de incidentes de segurança
Melhorar operações de armazéns	Não encontrada	Local de trabalho mais seguro
Melhora na produtividade	Redução no consumo de energia	Não encontrada

FONTE: Adaptação e tradução livre de BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.6

O mesmo trabalho também contemplou um estudo de caso em uma indústria cerâmica que está adotando atributos i4.0. Foram realizadas entrevistas estruturadas com o CEO (*Chief Executive Officer*) e CPO (*Chief Production Officer*) e uma observação da linha de produção, que também contou com entrevistas de trabalhadores da linha de produção e do departamento de desenvolvimento (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.6).

FIGURA 18 – TRAJETÓRIAS DE SUSTENTABILIDADE DA I4.0 EXPLORADAS NA LITERATURA



FONTE: Adaptação e tradução livre de BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.6

As informações levantadas pelo estudo de caso, junto com os levantamentos da literatura, permitiram que os autores realizassem um levantamento dos principais fatores que teriam potencial para suportar melhorias nas três dimensões diferentes dimensões do TBL, trazendo indícios de como o fenômeno da i4.0 poderia estar ligado ao conceito de desenvolvimento sustentável nos moldes da ONU.

O quadro 9 traz estes resultados, comparando três fatores associados à i4.0, de forma a traçar um possível "ciclo virtuoso", onde aspectos econômicos, sociais e ambientais de sustentabilidade se apoiem mutuamente, se influenciando mutuamente de forma positiva (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.12). Ressalta-se que o quadro 9 traz um exemplo associado ao estudo de caso conduzido por esses autores para uma indústria específica, mas cuja metodologia poderia ser aplicada a outras áreas de atuação.

A partir da associação dos fatores relacionados à i4.0 e os fatores associados à sustentabilidade ambiental, é possível criar trajetórias de adoção de capacidades da i4.0 que possam também auxiliar no cumprimento dos ODS. O

estudo em questão traz alguns exemplos de como isso poderia ocorrer apresentando duas diferentes trajetórias (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.13).

QUADRO 9 – COMPARAÇÃO ENTRE FATORES ASSOCIADOS À I4.0 E AO TBL

Fatores associados ao fenômeno i.4.0	Dimensões do TBL		
	Dimensão econômica	Dimensão Ambiental	Dimensão social
<b>Produção mais eficiente e maior qualidade dos produtos</b>	Contrapor concorrentes	Redução no uso de recursos naturais	Planta em território nacional; maior satisfação dos trabalhadores e taxas pagas ao estado
<b>Trabalhadores i4.0</b>	Redução de erros na produção e danos acidentais	Redução no uso de recursos naturais	Tarefas baseadas no conhecimento; ambiente de trabalho mais seguro; força de trabalho como vetor de inovação
<b>Centro de pesquisa</b>	Energia economizada e menos resíduos de produção	Prevenção de erros de produção	Contratação de força de trabalho

FONTE: Adaptação e tradução livre de BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.12

Na primeira trajetória, o aumento da eficiência de produção (dimensão econômica) é associada à redução no uso de recursos (dimensão ambiental), e a vantagem competitiva (dimensão econômica) é associada ao aumento do pagamento de impostos e à possibilidade de defesa de boas condições de emprego (dimensão social). Em uma segunda trajetória, associa-se a redução do nível de defeitos na produção (dimensão econômica) com a redução no uso de recursos (dimensão ambiental) e também com a possibilidade de investimento em pesquisa (dimensão social), que, por sua vez, está ligada a novas oportunidades de trabalho (dimensão social) (BRACCINI e MARGHERITA, 2019 p.13).

Fica evidente até este momento do trabalho, portanto, que mesmo que as capacidades da i4.0 estejam muito mais associadas à dimensão econômica da sustentabilidade, há trajetórias possíveis e importantes entre aspectos da dimensão econômica e aspectos das dimensões ambiental e social que não podem ser desconsiderados. Há, portanto, possibilidade de que novas capacidades associadas à i4.0 possam, de fato, influenciar positivamente em contraposição à atual crise ambiental.



No entanto, o que se pretende no presente trabalho não é apenas associar características ligadas à i4.0 a fatores que possam gerar benefícios em relação à sustentabilidade. Pretende-se um pouco mais: Associar novos modelos de desenvolvimento que são extremamente recentes (mas já podem ser observados em várias esferas), e que estão repletos de capacidades associadas ao fenômeno i4.0, ao potencial destes modelos para possibilitar trajetórias de desenvolvimento mais sustentáveis.

Assim, a partir dos modelos de desenvolvimento elencados no capítulo 2.3 e das capacidades associadas ao fenômeno da i4.0, elencadas no subcapítulo 1.3.5 (e mensuradas e validadas por meio de uma pesquisa prática relatada no capítulo 3.1.1), foi possível determinar quais dos ODS tinham maior pertinência aos temas trabalhados neste estudo. A seguir são relacionadas os seis ODS escolhidos, assim como os principais motivos para tanto.

- a) Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos

Este ODS está diretamente relacionado ao tema do trabalho em mais de um sentido, posto que: a modalidade de *Crowdfunding* associada a sistemas de moedas digitais baseadas em *Blockchain* poderiam assegurar acesso a serviços bancários e financeiros de forma mais segura e abrangente; e sistemas baseados em *hardware* livre e *Living Labs* poderia fomentar a modernização tecnológica, o empreendedorismo, a criatividade e a inovação. No entanto, iniciativas relacionadas a sistemas de IA poderiam, eventualmente prejudicar que a humanidade alcance o emprego pleno e produtivo para todos.

- b) Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

Este ODS se relaciona ao tema do trabalho, uma vez que sistemas de *hardware* livre poderiam fomentar a industrialização inclusiva e sustentável, além de modernizar a infraestrutura e aumentar o acesso às tecnologias de informação em pequenas indústrias e outras empresas com menor capacidade de investimento. Plataformas de *Crowdfunding* poderiam auxiliar o acesso destas empresas a



serviços financeiros, e transações poderiam ser simplificadas por moedas digitais baseadas em *Blockchain*. A utilização de metodologias de *Living Labs* poderia, ainda, apoiar o desenvolvimento tecnológico de maneira mais ampla.

c) Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles

Este ODS se adere ao tema do trabalho, uma vez que metodologias de desenvolvimento baseadas em *Living Labs* tem grande potencial para empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, uma vez que um dos pressupostos deste método é, justamente, a participação de todos os interessados no processo. Sistemas de moedas digitais baseadas em *Blockchain* poderiam ser utilizados para reduzir custos de transação de remessas dos migrantes, promovendo justiça social, no entanto estes mesmos sistemas poderiam dificultar a regulamentação e monitoramento de mercados e instituições financeiras globais, algo não desejável no contexto dos ODS.

d) Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis

Uma vez que sistemas baseados nos princípios da i4.0 poderiam contribuir para a gestão sustentável e para o uso eficiente dos recursos naturais, reduzindo assim a geração de resíduos e o uso de recursos, este ODS também se alinha ao tema do presente trabalho. Neste tema, ressalta-se ainda o potencial dos sistemas baseados em *hardware* livre para fortalecer capacidades científicas e tecnológicas a um baixo custo.

e) Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos

Este ODS está relacionado ao trabalho no sentido de que tanto sistemas de *hardware* livre quanto sistemas de IA têm potencial para reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais

tanto por meio de sensoriamento e comunicação IP<sup>43</sup>, quanto pelo uso de sistemas de processamento baseados em algoritmos de IA, de forma a promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento associado à mudança climática e à gestão eficaz de recursos.

Conforme mencionado na seção de metodologia, por ocasião da pesquisa em uma indústria (cujos resultados estão no subcapítulo 3.1.1) também foram realizadas perguntas a respeito de como os respondentes enxergam alguns dos ODS elencados neste trabalho (números 8, 9, 10, 12 e 13) em relação a pertinência dos mesmos em relação ao desenvolvimento sustentável e também sobre a eventual possibilidade dos avanços associados à i4.0 virem a influenciar positivamente para o cumprimento de cada um destes ODS escolhidos.

As respostas das perguntas que questionaram a pertinência das ODS em relação ao desenvolvimento sustentável estão descritas na tabela 1, na qual as perguntas se encontram na primeira coluna e as possíveis respostas se encontram na primeira linha, sendo que as células coloridas representam o número de respostas, num total de 7 respondentes. Ressalta-se que estes resultados devem ser tomados apenas a título de exemplo, apenas no intuito de emergir características do perfil dos respondentes em relação a questões ambientais, afinal a amostragem da pesquisa é bastante reduzida. Assim, muito embora a pesquisa possa ser relevante para avaliar as características da gestão da empresa alvo da pesquisa em relação a aspectos de sustentabilidade ambiental, seria insuficiente para levantar quaisquer conclusões gerais.

As respostas das perguntas que questionaram sobre a percepção dos respondentes quanto à (possível) relação dos ODS com as capacidades da i4.0 se encontram na tabela 2, na qual as perguntas se encontram na primeira coluna e as possíveis respostas se encontram na primeira linha, sendo que as células coloridas representam o número de respostas, também num total de 7 respondentes com cargos estratégicos dentro da empresa.

---

<sup>43</sup> IP, ou Internet Protocol (Protocolo de Internet) é um protocolo de comunicação usado entre todas as máquinas que utilizam internet.

TABELA 1 – RESPOSTAS DA PESQUISA EM UMA INDÚSTRIA DE TECNOLOGIA A RESPEITO DA PERTINÊNCIA DAS ODS EM RELAÇÃO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

	Este objetivo é urgente e vital para o desenvolvimento sustentável da humanidade	É um objetivo importante, no entanto há temas mais pertinentes que mereceriam prioridade	Não há evidência suficiente de que este objetivo possa contribuir para o desenvolvimento sustentável da humanidade	Há evidências suficientes para afirmar que este objetivo não contribuirá para o desenvolvimento sustentável da humanidade
1.1) Qual é a sua percepção quanto à importância do "Objetivo 8" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável no mundo? Objetivo 8: Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos	2	4	0	1
2.1) Qual é a sua percepção quanto à importância do "Objetivo 9" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável no mundo? Objetivo 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação	3	4	0	0
3.1) Qual é a sua percepção quanto à importância do "Objetivo 10" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável no mundo? Objetivo 10: Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles	5	2	0	0
4.1) Qual é a sua percepção quanto à importância do "Objetivo 12" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável no mundo? Objetivo 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis	1	4	2	0
5.1) Qual é a sua percepção quanto à importância do "Objetivo 13" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável no mundo? Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos	4	3	0	0

Fonte: Autor, 2019

A partir das respostas é possível perceber certa homogeneidade na opinião dos respondentes para ambas perguntas. Também ressalta-se que os respondentes tenderam a afirmar tanto uma razoável importância dos ODS elencados para o desenvolvimento sustentável quanto uma razoável relação (de forma positiva) entre as capacidades da i4.0 e os ODS.

**TABELA 2 – RESPOSTAS DA PESQUISA EM UMA INDÚSTRIA DE TECNOLOGIA A RESPEITO DA PERCEPÇÃO DOS RESPONDENTES QUANTO À (POSSÍVEL) RELAÇÃO DOS ODS COM AS CAPACIDADES DA I4.0**

	Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm grande potencial de influenciar positivamente neste tema	Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm certo potencial de influenciar positivamente neste tema	Os avanços da manufatura avançada (i4.0) não influenciarão neste tema	Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm certo potencial de influenciar negativamente neste tema	Os avanços da manufatura avançada (i4.0) têm grande potencial de influenciar negativamente neste tema
1.2) Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do "Objetivo 8" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? Objetivo 8: Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos	1	4	0	1	1
2.2 Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do "Objetivo 9" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? Objetivo 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação	0	6	1	0	0
3.2 Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do "Objetivo 10" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? Objetivo 10: Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles	2	4	0	1	0
4.2 Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do "Objetivo 12" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? Objetivo 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis	0	6	0	1	0
5.2 Qual é a sua percepção quanto à (possível) relação do "Objetivo 13" da agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável com as capacidades da "manufatura avançada" (i4.0)? Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos	2	3	1	1	0

Fonte: Autor, 2019

### 3.3 LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DE INICIATIVAS

Neste capítulo serão levantados alguns exemplos dos novos modelos de desenvolvimento elencados no capítulo 2.3, de forma a exemplificar elementos associados tanto à crise ambiental quanto ao fenômeno da i4.0, e assim indicar de

que forma estes novos modelos estão ligados a estes elementos de forma mais substancial.

### 3.3.1 *Tesla Motors*

Elon Musk cresceu na África do Sul, imigrou para o Canadá aos 17 anos e foi parar nos Estados Unidos como estudante transferido para a universidade de Pensilvânia. Atualmente tem 48 anos e é um empresário que atua nas áreas automobilística, energética, transportes e até mesmo aeroespacial, afinal é presidente da empresa *SpaceX*, que produz sistemas aeroespaciais para colocar satélites em órbita e é atualmente avaliada em mais de 20 bilhões de dólares. Elon Musk também é presidente da empresa *Tesla Motors*, exemplo deste tópico do trabalho, que foi fundada em 2003 no intuito de trazer veículos totalmente elétricos para o mercado das massas. Sua fortuna pessoal é estimada em 32 bilhões de dólares. (FORBES, 2020)

Musk está por trás de mais de uma empresa que trouxe mudanças disruptivas em seus respectivos setores, e é frequentemente chamado de “Tony Stark<sup>44</sup>” da vida real (MAIR, 2016 p. 27). Participou de empresas como a *DeepMind Technologies*, na área de inteligência artificial e lançada no final de 2010 com Musk como um dos principais investidores-anjo e vendida para a *Google* em janeiro de 2014 por um valor não divulgado, especulado entre US \$ 400 e US \$ 600 milhões, ou ainda a *Boring Company*, que tem como foco a construção de grandes túneis como forma alternativa de evitar o grande tráfego de veículos nas ruas. (ROSS, 2020)

O autor Michael Valentin publicou, em 2019, o livro “*The Tesla Way*”, no qual coloca o modelo de produção da empresa como uma forma de quebra de paradigma. Segundo o autor, o “teslismo” já poderia ser considerado um novo sistema de produção, tal como o fordismo, toyotismo ou o volvismo, mas dessa vez articulado em torno de 7 novos princípios: criação de histórias, integração cruzada, tração tentacular, liderança de *start-up*, hibridação de software, hiper-fabricação e aprendizado de homens e máquinas. (VALENTIN, 2019)

---

<sup>44</sup> Personagem fictício conhecido como “Homem de Ferro” (*Iron Man*, em inglês), criado pela empresa *Marvel Comics*.

Com as devidas ressalvas ao evidente promoção extrema das empresas de Elon Musk, é inegável o sucesso econômico da *Tesla Motors* enquanto empresa privada de capital aberto. A empresa negocia suas ações na bolsa de valores NASDAQ sob o símbolo “Tsla”, e é listada no índice NASDAQ-100, um dos maiores índices de crescimento de capitalização do mundo, que inclui 100 das maiores empresas não financeiras listadas na *Nasdaq Stock Market* com base em capitalização de mercado. (NASDAQ, 2020)

A *Tesla Motors* produziu “apenas” 367,5 mil veículos em 2019, o que representou um aumento 50% em relação ao ano anterior (TESLA, 2020a). Este é um valor bastante tímido em relação à produção total de veículos nos Estados Unidos em 2019, estimada em aproximadamente 10,9 milhões veículos (OICA, 2020), no entanto, neste mesmo ano (2019) a empresa ultrapassou, em valor de mercado, a *General Motors*, tornando-se a montadora de veículos mais valiosa dos Estados Unidos de todos os tempos, com um valor de mercado de 81,38 bilhões, e globalmente atrás apenas da *Toyota Motor Corp*, avaliada em 227,90 bilhões de dólares e da *Volkswagen*, avaliada em 98,65 bilhões de dólares. (ORTEGA, 2020)

Em relação aos conceitos da i4.0, muito embora a empresa se mostra como um grande ícone da era digital, com recursos e sistemas de informação de vanguarda e uma cultura evidentemente aberta à inovação, também possui características bastante típicas de empresas tradicionais.

Os produtos da empresa, carros elétricos de tecnologia de ponta, são exemplos típicos das tecnologias associadas ao fenômeno da i4. Além de recursos tecnológicos evidentes, a empresa também se mostra muito atenta a integração entre diferentes áreas e se mostra extremamente aberta à inovação. No entanto, em relação a sua estrutura organizacional, possui uma estrutura de caráter funcional bastante tradicional. Os escritórios funcionais que direcionam e representam a hierarquia global são os seguintes (MEYER, 2018):

1. Presidência
2. Finança
3. Tecnologia
4. Vendas e serviços globais
5. Engenharia
6. Jurídico

As principais divisões da empresa em sua estrutura corporativa são a área automotiva e a área de geração e armazenamento de energia, muito embora menos significativas em comparação com a hierarquia baseada em funções da organização. A empresa assume, assim, uma forma bastante tradicional, considerando o foco e o controle gerencial da empresa centralizada, juntamente com a expansão operacional limitada no mercado global (MEYER, 2018).

A *Telsa Motors* tem como objetivo criar um ecossistema de energia sustentável completo. Afinal, também fabrica um conjunto de soluções energéticas, como a bateria *Powerwall Powerpack* e a telha solar *Solar Roof*, de forma a permitir os clientes a gerenciar a geração, armazenamento e consumo de energia renovável. A empresa criou também a "*Gigafactory 1*" uma fábrica de grandes proporções, projetada para reduzir significativamente os custos das células da bateria. Ao criar carros elétricos cada vez mais economicamente acessíveis ao consumidor, a empresa pretende tornar os produtos acessíveis a um número cada vez maior de pessoas, acelerando o advento de um sistema de transporte mais limpo e da produção de energia mais limpa. A principal ideia é de que carros elétricos, baterias e sistemas de geração e armazenamento de energia renovável já existem de forma independente há bastante tempo, mas quando combinados em um mesmo sistema podem se tornar mais poderosos. (TESLA, 2020b)

Uma grande vantagem da empresa é sua visão holística do mercado, posto que suas divisões automotivas e de armazenamento estão bastante vinculadas entre si por meio do conceito transversal de *smart grids*. A empresa aposta na energia elétrica como principal vetor energético do mundo, e portanto está bastante alinhada com os preceitos das ODS, principalmente ao objetivo 12, que trata de assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis, afinal, ao fomentar o uso massivo da energia elétrica como vetor energético e propor soluções práticas para tanto, a empresa também fomenta mais projetos de acesso e de uso destes recursos.

Entre os argumentos a respeito do uso de veículos elétricos está a redução do consumo de petróleo e dos custos de combustível, de certa forma "devolvendo dinheiro" aos bolsos dos motoristas, e consequentemente nos orçamentos das famílias. A injeção dessa economia em outros bens e serviços na economia local tem potencial de geração de novos empregos e aumento da produção econômica (normalmente medida como produto interno bruto ou PIB). Além disso, o uso do veículos elétricos geram atividade econômica e produção de emprego por meio de



aumento da demanda nos setores de produção de veículos, componentes de veículos, e infraestrutura, etc., e o uso em larga escala de teria o potencial até mesmo de reduzir as tarifas de eletricidade para todas as concessionárias de energia elétrica. (WINEBRAKE et al., 2017 p. 4)

Benefícios econômicos adicionais do uso em larga escala incluem ainda a mitigação de perdas econômicas negativas devido a choques no preço do petróleo; gerar receita adicional para os proprietários de veículos por meio de sistemas veículo-rede para troca de energia por meio de *smart grids*; prestação de serviços de qualidade e estabilização de energia, de forma a facilitar a integração de fontes alternativas e distribuídas de energia. (WINEBRAKE et al., 2017 p. 4) Além disso, veículos totalmente elétricos têm menos peças móveis em comparação aos veículos com motores convencionais de combustão interna, portanto, em média, são esperados custos de manutenção também mais baixos reduzindo ainda mais o custo total de operação e aumentando a economia dos usuários (WINEBRAKE et al., 2017 p. 7)

A empresa, ao propor soluções alternativas para armazenamento massivo e descentralizado de energia elétrica, passa a ser extremamente estratégica para o futuro da geração distribuída, que por sua vez tem grande potencial de gerar maior independência dos consumidores e está diretamente associada ao aumento das gerações eólica e fotovoltaica, menos impactantes em relação à crise ambiental em curso. Assim, mesmo que indiretamente, a empresa pode desempenhar um papel importante de “direcionamento tecnológico” da direção de um mundo mais sustentável. Desta forma, mesmo que indiretamente, a iniciativa poderia também estar relacionada aos ODS 7, 8 e 9:

- Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos
- Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos
- Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

No entanto, do ponto de vista da concepção de um novo imaginário industrial que de fato preze pela sustentabilidade em um sentido mais amplo, principalmente

em uma visão coletiva e social, a *Tesla Motors* se mostra bastante arraigada a valores tradicionais, tais quais o enriquecimento de acionistas, fomento ao consumo e a concentração de capital. Isso suscita que, caso a humanidade passe a traçar de fato um caminho em direção a uma sociedade mais sustentável, provavelmente empresas como a *Tesla Motors*, que está ajudando a fomentar mercados mais democráticos, como o da geração distribuída por dar mais liberdade ao consumidor (ou prosumidor), ou dos veículos elétricos por trazer ao mundo um sistema muito mais versátil e simples em comparação à atual cadeia baseada em petróleo, farão parte de um momento de transição histórica.

Por fim, a sobrevivência da empresa a longo prazo dependerá da sua própria capacidade em se reinventar, já que ao gerar liberdade ao consumidor e versatilidade ao mercado, abrirão oportunidade para uma infinidade de concorrentes, incluindo aí desde *startups* tecnológicas até inventores individuais, que criarão soluções próprias com ferramentas cada vez mais elaboradas, muitas delas diretamente decorrentes dos esforços da empresa em criar novos mercados.

### 3.3.2 Kickstarter

O Kickstarter foi lançado em 28 de abril de 2009, e atualmente é o maior site do mundo de *crowdfunding* na modalidade *reward* (MOLLICK, 2016). É uma empresa independente de cerca de 141 pessoas, muitas das quais trabalhavam juntas em uma antiga fábrica de lápis na cidade de Nova York. Um dos focos da empresa é criar comunidades em torno de projetos criativos e apoiar o ecossistema criativo da região. A empresa conta com desenvolvedores, designers, especialistas em suporte, escritores, músicos, pintores, poetas, jogadores e construtores de robôs. Ao longo dos anos, quase 18 milhões de pessoas já apoiaram projetos, e 4,39 bilhões de dólares foram usados para financiar 180.647 projetos com sucesso. Entre os projetos artísticos já financiados, há obras ganhadoras do prêmio *Grammy* e indicados ao prêmio *Oscar* (KICKSTARTER, 2020).

Sites de *crowdfunding* como o Kickstarter estão se tornando cada vez mais populares, permitindo que os criadores de projetos levantem centenas de milhões de dólares a cada ano (MITRA e GILBERT, 2014 p. 49)(ETTER et al., 2013 p. 177). O site opera na modalidade de captação de recursos "tudo ou nada": uma vez que o prazo do projeto for atingido, a campanha será considerada bem-sucedida se (e

somente se) atingiu sua meta financeira. Nesse caso, os patrocinadores realmente pagam o dinheiro prometido e a idéia do projeto é implementada. Apenas 44% das campanhas atingem sua meta (ETTER et al., 2013 p. 177).

A missão da empresa é ajudar a dar vida a projetos criativos, e tem a ideia de que a arte e a expressão criativa são essenciais para uma sociedade saudável e vibrante, e o espaço para criá-la exige proteção (no caso, financeira). A proposta da iniciativa é impedir que as elites do mundo da arte e os executivos de entretenimento definam os rumos da cultura, e que pessoas criativas (mesmo aquelas que nunca fizeram nada antes) assumam o comando. Para tanto, a empresa auxilia os criadores a se conectarem diretamente com suas comunidades, dando poder a quem de direito (KICKSTARTER, 2020).

Em 2015 a empresa se tornou uma "Corporação de Benefício Público" (*Public Benefit Corporation* é uma empresa com fins lucrativos que prioriza resultados positivos para a sociedade tanto quanto para nossos acionistas), o que alterou os princípios da empresa e a distribuição de lucros, de forma a compartilhar recursos e conselhos para todos os tipos de desenvolvedores independentes. Novas metas e compromissos específicos foram criados para colocar os valores da empresa em suas operações, de forma a promover artes e cultura, combater a desigualdade e ajudar projetos criativos a acontecerem (KICKSTARTER, 2020).

No estudo "*An Ambivalent Political Economy of Kickstarter*" Aaron Heresco (2016), além de evidenciar o potencial emancipatório da plataforma, ressalta ainda o fato da plataforma poder funcionar simultaneamente como um mecanismo para a democratização do financiamento e como um brinde para financiar o capital jogando os riscos para o consumidor final, tratando-se, portanto de um sistema de caráter político-econômico de natureza complexa e ambivalente (HERESCO, 2017 p. 47-48).

As relações da iniciativa da plataforma *Kickstarter* enquanto empresa com as características associadas ao fenômeno da i4.0 não são pertinentes a este estudo, posto que a iniciativa é elencada apenas como um vetor de fomento à criação de novas indústrias de base tecnológica em relação a questões financeiras. No entanto, em relação às ODS, por estar diretamente associada ao fomento de projetos criativos e inovadores, pode ser associada ao ODS 9 (construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação), assim como também poderia ser pertinente ao ODS 8 (promover o

crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos), posto que se mostra como uma forma bastante eficiente de financiamento de novas empresas de base tecnológica.

Plataformas como o Kickstarter podem ser consideradas forças de proporções globais que tendem fortemente ao cooperativismo e ao respeito de princípios éticos, e que permitem universalizar o fornecimento recíproco de liquidez financeira entre atores que isoladamente apresentam pouca ou nenhuma representatividade perante o sistema econômico mundial vigente, mas que, no entanto, somados aos poucos representam uma ruptura real no mercado financeiro global. Ressalte-se que o *Kickstarter* é apenas um dos (grandes) exemplos de como isso pode acontecer.

No entanto, ressalta-se a ambivalência deste modelo de desenvolvimento, já que, ao mesmo tempo que permite a emancipação do pequeno ator, que de outra maneira teria poucas perspectivas, também permite a aceleração e escalabilidade de um modelo industrial convencional que pariu no planeta uma grande crise ambiental, e portanto não há evidência de que, ao acelerar este processo, não se estaria também acelerando os resultados desta crise. Um exemplo que poderia ser tomado como extremo é o recente financiamento, em outubro de 2019, do projeto de um projetor multimídia pela bilionária multinacional empresa PHILIPS, projeto que teve como meta a arrecadação de 50 mil euros, mas chegou a arrecadar 6,7 milhões de euros ao final do prazo (INDIEGOGO, 2019).

### 3.3.3 Arduino

A iniciativa Arduino foi, notoriamente, quem trouxe o movimento de *hardware open source* para o mundo de maneira mais intensa de forma a criar um fenômeno de vendas, tanto de placas oficiais quanto não oficiais (já que isso é plenamente permitido e fomentado pelas regras do próprio projeto. Até 2014 haviam sido registradas mais de 700 mil vendas de placas oficiais (CUARTIELLES, 2012).

Em termos tecnológicos, o Arduino representa, de certa maneira, uma evolução do microcontrolador<sup>45</sup> PIC<sup>46</sup>, trazendo mais facilidades aos desenvolvedores, principalmente em relação a (ARDUINO, 2019):

- Custo: as placas Arduino são relativamente baratas em comparação com outras plataformas de microcontroladores. A versão mais barata do módulo Arduino pode ser montada manualmente e até os módulos Arduino pré-montados têm custo reduzido;
- Plataforma cruzada: O software Arduino (IDE) é executado nos sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux. A maioria dos sistemas de microcontroladores é limitada ao sistema operacional Windows.
- Ambiente de programação simples e claro: O Arduino Software (IDE) é fácil de usar para iniciantes, mas flexível o suficiente para usuários avançados também aproveitarem recursos mais avançados;
- Software aberto e extensível: O software Arduino é publicado como ferramenta open source, e disponível para extensão por programadores experientes. A linguagem ainda pode ser expandida através de novas bibliotecas;
- Código aberto e hardware extensível: Os planos das placas Arduino são publicados sob uma licença Creative Commons, para que projetistas de circuitos experientes possam criar sua própria versão do módulo, estendendo-o e aprimorando-o. Mesmo usuários relativamente inexperientes podem criar a versão de placa de ensaio do módulo para entender como ele funciona e assim economizar dinheiro.

A figura 19 (EL-ABD, 2017 p. 83) evidencia a tendência mundial (onde o ponto máximo é igual a 100% e os demais pontos são relativos ao máximo) de pesquisa dos termos *Arduino*, *PIC microcontroller*, e *Raspberry Pi* (um projeto análogo ao Arduino, no entanto mais recente, e de maior performance e custo) de

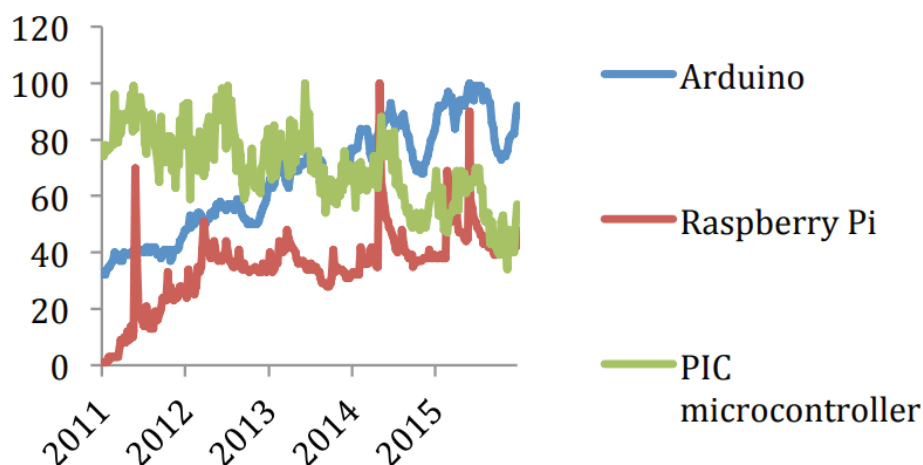
---

<sup>45</sup> Microcontrolador é um pequeno computador inserido em único circuito integrado que contém um processador, memória e sinais de entrada e saída programáveis.

<sup>46</sup> PIC acrônimo de "*Programmable Interface Controller*" (Controlador de Interface Programável), é uma arquitetura específica de microcontroladores bastante populares, fabricados pela empresa *Microchip Technology*.

2011 a 2016, onde fica evidente que houve um aumento nas pesquisas a respeito das duas plataformas de *hardware open source* em detrimento ao uso do famoso microcontrolador comercial PIC.

FIGURA 19 – TENDÊNCIA NO USO DE TERMOS (VIA GOOGLE) ENTRE 2011 E 2016



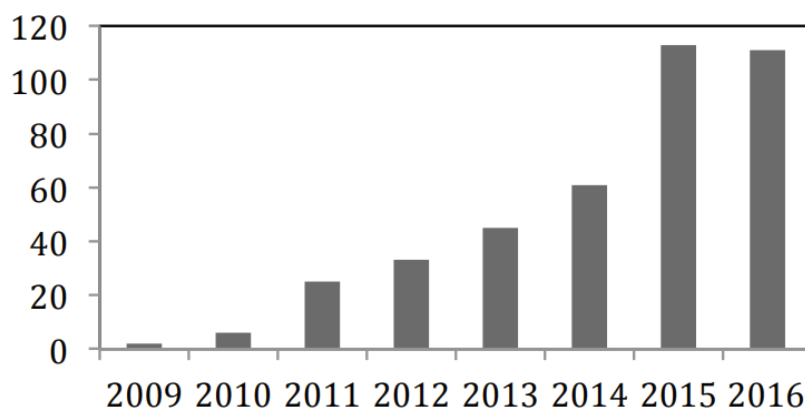
FONTE: (EL-ABD, 2017 p. 83)

Em relação ao aspecto educacional do uso da plataforma *Arduino*, a figura 20 (EL-ABD, p. 83) evidencia a tendência de publicações entre 2009 e 2016 nas seguintes conferências sobre educação: *American Society for Engineering Education (ASEE)*, *Frontiers in Education (FIE)*, *IEEE Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, and *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. Essas publicações relatam o uso do *Arduino* na educação (em escolas primárias, escolas secundárias e universidades), introduzindo novos conselhos educacionais, recomendando seu uso ou apenas reconhecendo a tecnologia, o que suscita um aumento no interesse crescente na área de educação (EL-ABD, 2017 p. 84).

O crescimento do *Arduino* pode ser entendido como parte de um interesse emergente em tecnologia a nível global, que circula pela ideia de co-criação através de troca de conhecimento *online*. Entre as ferramentas com filosofias análogas, destacam-se as seguintes, no que tange a construção de comunidade: *PureData*, uma ferramenta de código aberto para estudar o som; *Processing*, uma ferramenta para aprender sobre animação; ou o movimento de impressão *RepRap* 3D; além,

claro, do Arduino, o primeiro projeto de hardware *open source* bem-sucedido. (CUARTIELLES, 2014 p. 166-167)

FIGURA 20 – PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS SOBRE O USO DO ARDUINO EM EDUCAÇÃO ENTRE 2009 E 2016



FONTE: (EL-ABD, 2017 p. 83)

O Arduino foi criado em 2005 no Instituto de Design de Interação Ivrea, na Itália, como uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre (*open source*) composta por uma linguagem de programação, um ambiente de desenvolvimento e um microcontrolador de placa única. Os fundadores do projeto, Massimo Banzi e David Cuartielles, batizaram o projeto com o nome de "*Arduin de Ivrea*", para homenagear o principal personagem histórico da cidade. Hernando Barragán, um estudante da mesma escola, juntamente com Diego Gonzalez Joven, desenvolveu a plataforma em 2003 como sua tese de mestrado, supervisionada por Massimo Banzi e Casey Reas. A ideia era permitir a programação simplificada de sistemas eletrônicos para artistas e designers, e assim não restringir o uso desse tipo de sistema a profissionais da área eletrônica. (RAMOS, 2012 p.2)

O desenvolvimento *open source*, no entanto, pode produzir resultados que, em muitos aspectos, é superior aos produtos de desenvolvedores comerciais. Afinal, a flexibilidade e adaptabilidade são características-chave do processo de desenvolvimento *open source*, e esses recursos abrem um grande potencial para uma possível "racionalização subversiva" por parte de intenções puramente capitalistas. Isso gera potencial conflito entre o modelo *open source* e outros valores e ideologias dominantes, mas estas tensões também levantam questões maiores sobre as relações entre o modelo de código aberto, a ética *open source* e as



ideologias econômicas e políticas dominantes, incluindo o comunismo, o socialismo e o capitalismo. (JESIEK, 2003)

Assim, a liberdade pode levar um usuário particular (eventualmente uma empresa) a se beneficiar de um código-fonte compartilhado, alterando-o um pouco para depois compilá-lo e vendê-lo como software proprietário. A função da GPL (GNU *General Public License*, ou Licença Pública Geral GNU). Os termos do contrato de licença foram projetados para excluir este tipo de usuário, forçando todos os que usam código um código *open source* anteriormente a abrir quaisquer contribuições feitas posteriormente. Ressalta-se que, portanto, essa defesa não é feita por meio de uma "abolição da propriedade intelectual", mas muito pelo contrário: os colaboradores possuem os direitos autorais de qualquer parte do código, mas são inseridos "direitos de exclusão" para estes casos. (DELANDA, 2001 p.4)

O que o movimento GNU e sua contraparte de código aberto trouxeram ao mundo da computação é um novo tipo de pensamento sobre como compartilhar conhecimento. O compartilhamento acontece graças à existência de estruturas legais que permitem que os criadores repassem seu trabalho a outras pessoas que possam desenvolvê-lo. O Arduino usou vários modelos de licenciamento diferentes, principalmente porque foi um dos primeiros projetos a ter a necessidade de licenciar objetos físicos e porque quando foi fundado (em 2005) não havia modelo de licenciamento adequado para hardware (tradução livre de CUARTIELLES, 2014 p. 153).

No entanto, tais ressalvas só são pertinentes nos casos de usuários que pretendam ter retornos financeiros baseados no desenvolvimento alheio. Isso suscita que plataformas de desenvolvimento como o Arduino, por abrirem novas (e virtualmente infinitas) perspectivas para comunidades criarem coletivamente projetos abertos baseados em sistemas eletrônicos de grande performance são capazes de

(...) transformar a tecnociência em instrumento de emancipação e de conquista de direitos negados ou dificultados por práticas hegemônicas, a cidadania e age em participação ao ideário coletivo e público, talvez até em tentativa de dirimir a desigualdade social em todos os sentidos, como pela técnica. Nesta qualquer pessoa passa a ter acesso às diferentes ferramentas para alcançar novos resultados, posto que por exemplo o conhecimento acerca da linguagem de programação de baixo nível (que utiliza e trabalha diretamente com as instruções do processador) não é mais uma exigência *sine qua non*, já que esta nova geração de sistemas costuma trabalhar diretamente com linguagens de alto nível (que possuem nível de abstração relativamente elevado, longe do código de máquina e mais próximo à linguagem humana), como verificado no exemplo da iniciativa do projeto Arduino, que utiliza uma linguagem baseada em C++. Além da técnica, outra possibilidade que a cultura do código livre mostra na tentativa de diminuir a desigualdade é pela participação econômica difundida por esta plataforma, pois torna-se economicamente viável a pequenos grupos sistemas de controle e automação cada vez mais complexos e de grande desempenho de processamento. (BREHM et al, p. 59)

A total flexibilidade para o uso da plataforma Arduino (e similares) nas mais diversas aplicações, assim como o seu baixo custo e talento inato para aplicações em IoT, intensifica o uso em aplicações industriais associadas ao fenômeno da i4.0, permitindo novas capacidades em diversas áreas da produção industrial, principalmente na área de medição, controle e automação de processos.

Da mesma forma, haja vista a sua extrema versatilidade, a plataforma Arduino também se mostra com grande potencial para enfrentamento da crise ambiental, e pode ser conectada a todos os ODS avaliados no presente trabalho, na medida que pode ser parte de sistemas de acesso à energia (ODS 7); pode promover o crescimento econômico inclusivo e promover a industrialização inclusiva e sustentável e ainda fomentar a inovação através de projetos diversos (ODS 9); pode reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles ao disponibilizar ferramentas de alta capacidade e baixa complexidade a custos baixos (ODS 10); pode assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis ao permitir a criação de produtos com extrema flexibilidade e adaptabilidade (características-chave do processo de desenvolvimento *open source* (ODS 12); e até mesmo tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos (ODS 13), quando avaliado o potencial destas plataformas para a geração de projetos alternativos de medição de parâmetros climáticos, geração renovável, entre outros.

O Arduino se mostra, portanto, como uma ferramenta que carrega um grande potencial emancipatório ao cidadão comum, tipicamente sem grandes capacidades de investimento ou conhecimento profundo sobre sistemas de controle. O arsenal de modelos de placas de controle e módulos extras para controle de

motores, conexão com a internet, reprodução de sons, etc. disponíveis a baixíssimo custo, assim como uma infinidade de algoritmos de controle disponíveis gratuitamente nas comunidades sobre o tema possibilitam uma estrutura de desenvolvimento que até algumas décadas era exclusiva de grandes indústrias com grande capacidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento.

No entanto, fica evidente o caráter ambivalente do potencial da plataforma Arduino (e de outras análogas), posto que ao mesmo tempo que se mostra como uma esperança de emancipação humana frente ao sistema capitalista convencional, também corre o risco de ser engolido por este mesmo sistema, ao também permitir (e facilitar) o desenvolvimento rápido de soluções comerciais por empresas que contam com grande de volumes de recursos a partir de esforços coletivos alheios (e gratuitos), o que, de certa maneira, iria contra a própria filosofia *open source*.

### 3.3.4 Open AI

O recente campeonato mundial de xadrez viu Magnus Carlsen defender seu título contra Fabiano Caruana. Mas não era uma disputa entre os dois jogadores de xadrez mais fortes do planeta, apenas os humanos mais fortes. (KASPAROV, 2018)

Após a derrota do mestre do xadrez Kasparov em sua revanche contra o computador Deep Blue, da IBM, em 1997, esta curta janela da competição entre homens e máquinas se fechou para sempre, segundo ele mesmo (KASPAROV, 2018), em um artigo chamado "*Chess, a Drosophila of reasoning*", onde comenta sobre os jogos entre as duas (atuais) maiores "entidades" do xadrez: o programa *Stockfish* e o programa *AlphaZero*. Enquanto o primeiro programa usa avaliações predefinidas associadas a uma imensa capacidade de processamento, a segunda utiliza uma abordagem por aprendizagem por reforço<sup>47</sup>, sem qualquer estratégia humana incorporada previamente. Nesse sentido, Kasparov comenta que (KASPAROV, 2018)

---

<sup>47</sup> Aprendizado por reforço é um método de programação através do oferecimento de recompensas e punições, sem a necessidade de especificar como uma tarefa deve ser realizada, e é uma abordagem bastante utilizada em sistemas de IA.

(...) agora a mosca da fruta do xadrez está de volta ao microscópio. Baseado em um algoritmo genérico de jogo, o AlphaZero incorpora aprendizado profundo e outras técnicas de IA, como a pesquisa em árvores Monte Carlo, para jogar contra si mesmo e gerar seu próprio conhecimento de xadrez. Diferentemente dos principais programas tradicionais, como o Stockfish e o Fritz, que empregam muitas funções de avaliação predefinidas, além de enormes bibliotecas de movimentos de abertura e final de jogo, o AlphaZero começa a conhecer apenas as regras de xadrez, sem estratégias humanas incorporadas. Em apenas algumas horas, joga mais jogos contra si do que foram registrados na história do xadrez humano. Ele ensina a si mesmo a melhor maneira de tocar, reavaliando conceitos fundamentais como os valores relativos das peças. Rapidamente se torna forte o suficiente para derrotar as melhores entidades de xadrez do mundo, ganhando 28, empatando 72 e perdendo nenhuma na vitória sobre o Stockfish (KASPAROV, 2018).

A OpenAI é uma organização de pesquisa independente, constituída pela empresa com fins lucrativos "OpenAI LP" e sua organização controladora, a "OpenAI Inc.", esta sem fins lucrativos. A solução híbrida de uma organização sem fins lucrativos e com fins lucrativos é chamada (pela própria iniciativa) de "lucro limitado". Oficialmente, a missão da empresa OpenAI LP é garantir que a inteligência geral artificial (*artificial general intelligence*, ou AGI) beneficie toda a humanidade, principalmente ao procurar criar um AGI seguro e compartilhar os benefícios com o mundo (OPENAI, 2020).

Atualmente a iniciativa se concentra exclusivamente no desenvolvimento de novas tecnologias de IA, não em produtos comerciais, e emprega cerca de 100 pessoas organizadas em três áreas principais: capacidades (para avançar o que os sistemas de IA podem fazer), segurança (para garantir que esses sistemas estejam alinhados com os valores humanos) e política (para garantir governança apropriada para esses sistemas) (OPENAI, 2020). O projeto inicial contou com investimentos bilionários e a visão é a de que a IA deve ser uma extensão das vontades humanas individuais e, no espírito da liberdade, tão amplamente e uniformemente distribuída quanto possível. (OPENAI, 2015)

A empresa tem intenção de resolver problemas em escala planetária em áreas onde a humanidade supostamente estaria falhando e para as quais não há solução óbvia hoje. No entanto, há também a preocupação com o potencial da AGI de causar mudanças rápidas, seja por meio de máquinas que buscam objetivos mal especificados por seus operadores de forma maliciosa, subvertendo sistemas implantados ou ainda por meio de uma economia fora de controle que cresce sem resultar em melhorias nas vidas humanas. A organização se declara alinhada por

estes valores, mesmo que isso signifique pagamentos reduzidos ou nulos para os investidores, no intuito de evitar uma corrida competitiva que dificultaria a priorização da segurança (OPENAI, 2020).

Dentro do projeto, ressalta-se a iniciativa de criação do “*OpenAI Gym*” , um conjunto de ferramentas para desenvolver e comparar algoritmos de aprendizado por reforço de forma compatível com bibliotecas populares de computação numérica. A biblioteca disponibilizada é uma coleção de problemas de teste, ou seja, ambientes, que podem ser usadas para elaborar algoritmos de aprendizado por reforço. Esses ambientes têm uma interface compartilhada, permitindo escrever algoritmos gerais que podem ser reutilizados (OPENAI GYM, 2020).

Fica evidente que as (virtualmente) infinitas possibilidades de usos para sistemas de IA geram um enorme interesse das indústrias, já que, como já visto no capítulo 1.3 e 2.2, em última instância, a visão futura do que se chama hoje de i4.0 é justamente uma indústria que funciona sem a necessidade de humanos e toma decisões. Da mesma forma que no tópico anterior, que tratou da iniciativa Arduino, essas inúmeras possibilidades também podem se estender para projetos das mais variadas áreas, podendo assim se envolver transversalmente em praticamente todos os ODS.

E, também da mesma forma que acontece para as iniciativas de *hardware open source*, a ambivalência entre a adoção da sistemática convencional capitalista de busca pelo lucro e a busca pela emancipação humana através do alargamento de possibilidades de uso de tecnologias de grande capacidade é evidente até mesmo na concepção do próprio projeto OpenAI, já que o próprio projeto é dividido entre uma parte com fins lucrativos, chamada “OpenAI LP” e sua organização controladora, a “OpenAI Inc.”, que não possui fins lucrativos. A conclusão do trabalho “” resume bem esta ambivalência, ao especular qual seria o futuro da IA:

A IA será uma tecnologia onipresente durante a próxima revolução industrial, pois permite que entidades e processos se tornem inteligentes. As organizações e economias que adotam a IA de forma estratégica terão uma vantagem competitiva sobre aqueles que não incorporarem essa tecnologia em tempo hábil e adequadamente. A educação e o desenvolvimento de habilidades sociais desempenharão um capítulo essencial nas estratégias de IA. Nos próximos anos, o *deep learning*<sup>48</sup> continuará sendo popular nas pesquisas de IA. A IA será aplicada de forma incremental em todos os campos e setores de pesquisa, produzindo melhorias substanciais. Ainda assim, as opiniões sobre como a IA afetará a sociedade e as empresas permanecerão controversas, da mesma forma que as opiniões sobre se a IA superará a inteligência biológica. A quarta revolução industrial promete grandes benefícios, mas envolve enormes desafios e riscos. Parece plausível, porém remoto, alcançar o bem comum globalmente, pois isso exigirá colaboração global e interesses compartilhados. (VELARDE, 2009 p. 46)

### 3.3.5 Block.one

Em 2018, paralelamente ao aumento acentuado no preço do Bitcoin, surgiu uma nova tendência de investimento, conhecida como *Initial Coin Offering*, ou ICO. A principal característica de uma ICO é a captação de capital sem o envolvimento de terceiros, em um curto período de tempo. Para tanto, as ICOs permitem que empresas levistem grandes quantidades de capital diretamente de pessoas físicas, por meio de tecnologia baseada em *blockchain* (vide subcapítulo 2.3.5). O processo envolve a geração de ativos digitais por meio de tokens (essencialmente "chips digitais" que dão a seus proprietários o direito de acessar os produtos e serviços da empresa) e a venda ao público usando criptomoedas como *Bitcoin* ou *Ethereum* (STERGIOU, 2019 p.1)

A startup Block.one fica nas ilhas Cayman (STERGIOU, 2019 p.62) é responsável desenvolvimento do software da EOS, e atualmente este projeto de criptomoeda tem um valor bilionário, e mesmo sendo bastante recente, já é o décimo quarto maior projeto de criptomoeda do mundo em volume de recursos. Até o momento, o projeto já arrecadou mais de 700 milhões de dólares. No entanto, ao contrário do que costuma se ver, esta ICO, lançada em 2019, pode ser considerada a "mais demorada do mundo". (SEDGWICK, 2020)

---

<sup>48</sup> A aprendizagem profunda, do inglês *Deep Learning* é um ramo de aprendizado de máquina baseado em um conjunto de algoritmos que tentam modelar abstrações de alto nível.

O ciclo de desenvolvimento da EOS é incrivelmente longo para os padrões do setor. Embora essa possa ser uma rede de segurança por parte dos fundadores, garantindo que eles cumpram suas promessas, isso também deixa os concorrentes com tempo suficiente para desenvolver suas próprias soluções alternativas.(tradução livre de SEDGWICK, 2020)

O EOS.IO é um protocolo *blockchain* alimentado pela criptomoeda nativa também chamada EOS. O protocolo de funcionamento emula a maioria dos atributos de um computador real, com os recursos de computação distribuídos igualmente entre os titulares de criptomoedas EOS. O programa EOS.IO opera como uma plataforma de contrato inteligente e um sistema operacional descentralizado, destinado à implantação de aplicativos descentralizados em grande escala por meio de um modelo corporativo autônomo descentralizado. O EOS utiliza arquitetura *blockchain* para permitir o dimensionamento vertical e horizontal destes aplicativos descentralizados (COINMARETCAP, 2020).

A oferta total de tokens durante a ICO foi de um bilhão de tokens, mas o preço inicial do token não foi determinado pela empresa (como é o caso da maioria das ICOs), mas pelo mercado, com base na oferta e na demanda (COINMARETCAP, 2020), o que torna o sistema bastante suscetível a especulação financeira desde seu lançamento.

Os mineradores contribuem com poder de computação (*hashes*) para a rede, o que significa essencialmente um hash é igual a uma chance. Para que os participantes tenham a chance de serem recompensados, eles contribuirão com uma grande quantidade de poder computacional com configurações de hardware (plataformas de mineração) para gerar a criptografia necessária. Desta maneira, o mecanismo para a POW deste sistema introduziu eleitores em um sistema de partes anônimas e não confiáveis entre si (LEE, 2019).

A principal inovação tecnológica trazida pela plataforma *Ethereum* (vide subcapítulo 2.3.5) é a do contrato inteligente. No entanto, a plataforma *Ethereum* pode processar apenas entre 15 e 20 transações por segundo, enquanto o *bitcoin* (vide subcapítulo 2.3.5) pode processar apenas 7 transações por segundo. Já o sistema usado pelo EOS foi especialmente projetado para transações financeiras, e pode executar 1500 transações por segundo. Mesmo sendo um valor bastante alto em comparação aos outros sistemas baseados em *blockchain*, em relação ao sistema VISA, que executa 24000 transações por segundo, ainda é pouco. Assim, mesmo as criptomoedas com maior velocidade de transação ainda não podem ser



comparadas aos métodos de transação tradicionais, o que configura um desafio do ponto de vista técnico. (SEDGWICK, 2020 p.63)

O sistema EOS utiliza um novo método de POW, chamado *Delegated Proof of Stake* (DPoS), onde não existem exatamente "mineradores", mas 21 representantes eleitos pelo restante da rede, que serão responsáveis pela validação das transações. Assim, as transações são executadas muito mais rapidamente, pois a validação não será necessária em todos os nós da rede, como acontece em outras criptomoedas. (SEDGWICK, 2020 p.63)

A primeira aplicação da humanidade da tecnologia *blockchain* foi uma criptomoeda, o *bitcoin*, que se tornou um grande sucesso. Tanto na esteira das facilidades desta experiência quanto das óbvias possibilidades especulativas, estão sendo paridas inúmeras outras criptomoedas com volumes de transações bilionárias. Tudo isso suscita que a moeda do futuro provavelmente não será o *bitcoin*, mas provavelmente será algo muito parecido, baseado em algoritmos de *blockchain*, e os rumos do projeto EOS dizem muito sobre este provável futuro, pois tem uma grande vantagem: eficiência energética.

Esta talvez seja a maior inovação do sistema EOS do ponto de vista ambiental: usar muito menos energia elétrica (cujos volumes costumam ser substanciais nesses sistemas) para operar transações seguras, e portanto esta inovação da iniciativa está bastante alinhada com a ODS 7, que trata do acesso à energia, e consequentemente alinhada ao ODS12, que trata de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas. Assim, a EOS se mostra como um primeiro passo para a possibilidade de uma criptomoeda mais sustentável, mas ainda precisa provar sua robustez em relação a aspectos de segurança, e só o futuro dirá se esta criptomoeda poderá ser considerada confiável de fato.

Em relação aos demais ODS avaliados (8, 9, 10 e 13), a iniciativa poderia auxiliar, mas de maneira indireta, já que a empresa Block.One também opera, com os investimentos em criptomoeda EOS, uma linha de financiamento de projetos que utilizem e promovam, de alguma forma, esta criptomoeda. Segundo a empresa, o valor dos investimentos em projetos é de 50 mil dólares e não há critério de seleção, sendo os projetos avaliados um a um. (EOS, 2020)

Nesse sentido, o relatório de 2018 do Forum Econômico Mundial (HERWEIJER et al.,2018) intitulado "*Building block (chain) s for a better planet.*" também identifica um enorme potencial para criar fatores de mudança com a

utilização do blockchain em relação a alguns desafios ambientais. Estes fatores têm o potencial de interromper ou otimizar substancialmente sistemas que são críticos para enfrentar a crise ambiental. Os principais fatores seriam:(HERWEIJER et al.,2018 p.5-6):

- Cadeias de fornecimento "transparentes": Maior transparência às cadeias de suprimentos, certificando a origem de produtos e rastreabilidade;
- Gestão de recursos descentralizada e sustentável: Descentralização na obtenção de informações confiáveis, como por exemplo de água e energia;
- Novas fontes de financiamento sustentável: Uma revolução ao acesso ao capital para projetos de cunho ambiental;
- Incentivo a economias circulares: A tecnologia pode mudar a forma como materiais e recursos naturais são valorados e transacionados, podendo levar a uma mudança de comportamento;
- Transformação dos mercados de carbono (e outros mercados ambientais): A tecnologia pode otimizar as transações de créditos de descarbonização ou similares;
- Monitoramento, geração de relatórios e verificação de sustentabilidade: A tecnologia tem potencial para criar uma nova geração de relatórios de sustentabilidade, ajudando empresas a melhorar suas performances;
- Preparação automática para desastres e assistência humanitária: O *blockchain* poderia sustentar um sistema com múltiplas partes para melhorar a efetividade de uso de recursos em desastres;
- Plataformas de gerenciamento do planeta: Plataformas baseadas em *blockchain* poderiam monitorar e gerenciar mecanismos de proteção de bens ambientais universais, como a saúde de oceanos, muito embora a ideia ainda pareça tecnicamente pouco factível por enquanto;

Em relação à indústria, mais especificamente às capacidades associadas à i4.0, as facilidades trazidas pela tecnologia *blockchain* também serão diversas, e bastante parecidas com as mencionadas no relatório citado, já que também giram em torno de sistemas de confiabilidade de cadeias de suprimento, novas formas de financiamento, etc.

Por fim, no caso específico da empresa avaliada, a Block.One, é bastante emblemático no que tange à ambivalência entre uma ruptura do sistema capitalista tradicional, pois ao mesmo tempo que oferece uma alternativa e até mesmo uma ameaça ao sistema financeiro hegemônico (leia-se grandes instituições financeiras), também se utiliza de métodos bastante típicos deste sistema, como concentração de capital e evidentes métodos para especulação financeira, estes últimos, bastante comuns à praticamente todas criptomoedas com maior volume de transações, talvez em virtude das (não poucas) promessas desta tecnologia. Neste sentido, tudo indica que a humanidade pouco aprendeu sobre as tulipas<sup>49</sup> e suas perspectivas nefastas.

### 3.3.6 ENoLL

A Rede Europeia de Living Labs (*European Network of Living Labs* - ENoLL) é uma federação internacional de LLs que procura atuar como uma plataforma para intercâmbio de melhores práticas, aprendizado, suporte e desenvolvimento de projetos internacionais baseados em metodologia de LL. A rede foi fundada em novembro de 2006 por uma iniciativa da União Europeia e atualmente conta com mais de 150 membros ativos em LLs em todo o mundo (ENOLL, 2019).

A abordagem da ENoLL foi criada na Unidade “*Collaborative working environments*” da DG INFSO<sup>50</sup> (atual DG CONNECT) em colaboração com um grupo consultivo industrial sobre inovação aberta (*Open Innovation Strategy and Policy group* – OISPG), e o conceito original foi atualizado para abrir ambientes de inovação que atraíam investimentos, tanto intelectuais quanto financeiros (ENOLL, 2019).

Ressalta-se que uma forte reputação do LL é desejada em seu contexto de atuação, já que uma sinalização de confiabilidade é positiva para atrair novos parceiros e obter novos recursos, e essa é uma das coisas que leva LLs a se associarem com a ENNOL, obtendo assim legitimação, além da possibilidade de acesso a mais recursos nacionais e internacionais. (SILVA, 2015 p. 99)

---

<sup>49</sup> A “crise das tulipas” é um episódio da História da Holanda, que deu origem à primeira bolha especulativa conhecida, e é aplicado metaforicamente a bolhas especulativas em grande escala.

<sup>50</sup> Direção geral de redes, conteúdo e tecnologia das comunicações. É uma das pastas diretivas da Comissão Europeia. A (atual) DG Connect é responsável pela gestão da agenda digital.

Os LL são formas pragmáticas de desenvolvimento e inovação colaborativa, e procuram tratar de questões sob o viés da "vida real". Os LLs podem ter várias formas, variando desde laboratórios orientados para o mercado, usados para testes de novos produtos por seus usuários, até laboratórios com viés de compromisso de longo prazo entre os desenvolvedores e diversos grupos de cidadãos e suas respectivas preocupações (EMILSON, 2014, p. 8-9).

Nessa abordagem, os laboratórios tratam das questões de inovação, design e democracia como processos e eventos de troca de ideias e de concepção de infraestrutura, e não apenas como projetos isolados. (EMILSON, 2014, p. 9)

Essas atividades de co-construção ou infraestrutura não pressupõem um consenso entre as partes interessadas participantes, e se baseiam em um conceito de "democracia agonística", com o objetivo de encontrar maneiras de transformar relações antagônicas em resultados produtivos e interações e participações mais democráticas. No entanto, nem sempre todos os participantes terão poder para optar por não participar e seguir sozinho seu próprio caminho caso seus interesses básicos estiverem ameaçados, e alguns participantes podem não ter recursos suficientes para se manter, mesmo que desejem continuar colaborando. (EMILSON, 2014, p. 9)

Segundo Chantal Mouffe (MOUFFE, 2005 p. 20) , enquanto o antagonismo trata de uma relação entre "nós" e "eles" na qual as duas partes são inimigas e não partilham qualquer referencial comum, o agonismo é uma relação "nós" e "eles" na qual as partes em conflito, apesar de admitirem que não existe qualquer solução racional para o conflito, reconhecem a legitimidade do seu oponente. Seriam, portanto, "adversários", não "inimigos".

Nesse sentido, os LL podem ser vistos também como promotores de cooperação entre partes historicamente antagônicas, já que interações frequentes e alta transparência comportamental encorajam o comportamento recíproco. LLs tem potencial para construir relações mais robustas, já que nesta metodologia os participantes são estimulados a interagirem de forma mais ampla e profunda uns com o outros, de forma a reforçar os propósitos da rede e a finalidade social da inovação. No caso de LL brasileiros, é possível observar um papel central das inovações sociais nas redes de inovação (SILVA, 2105 p.100). Estas características dão aos LLs um grande potencial para atuar em projetos de enfrentamento à crise ambiental, também historicamente caracterizada por relações antagônicas entre

uma infinidade de partes envolvidas. Os LLs têm, portando um grande potencial para trabalhar temas transversais observados frequentemente nos ODS e envolver as diversas partes interessadas sob um método comum.

No entanto, cabe ressaltar que os LLs ser concebidos por interesses bastante diversos entre si. Segundo a literatura, especificamente em relação aos interesses envolvidos, os LLs podem ser divididos em quatro tipos gerais (SCHUURMAN et al., 2013 p. 4-5):

1. LLs orientados a usuários (*Utilizer-driven Living Labs*): Como os usuários são empresas que lançam o Living Labs para desenvolver seus negócios, o foco está no desenvolvimento e teste de novos produtos e serviços. Esses usuários usam o Living Labs como uma estratégia ferramenta para coletar dados sobre usuários de teste de seus produtos ou serviços, e geralmente têm vida curta ou são baseados em projetos.
2. LLs orientados a facilitadores (*Enabler-driven Living Labs*): Os facilitadores do LLs podem ser vários atores do setor público, organizações não-governamentais ou financiadores, como cidades, municípios ou organizações de desenvolvimento, e os projetos buscam algum tipo de inovação social ou melhoria social. A participação de empresas privadas nesse tipo de LLs tende a ser baixa, sugerindo que os potenciais benefícios comerciais não são claros para as empresas usuárias;
3. LLs orientados a fornecedores (*Provider-driven Living Labs*, ou *American Living Labs*): Os fornecedores podem ser organizações públicas ou empresas privadas que participam do Living Labs para co-desenvolver novos produtos, serviços e soluções para as necessidades de negócios ou da indústria. Os LL desta modalidade visam promover a pesquisa e o desenvolvimento da teoria, aumentar a criação de conhecimento e encontrar soluções para problemas específicos. O LL orientado a fornecedores pode se referir à noção americana original de LLs, onde um laboratório e infraestrutura são fornecidas para estudar os usuários finais em um ambiente semelhante à sua vida cotidiana;

4. LLs orientados a usuários (*User-driven Living Labs*): Os LLs orientados ao usuário são estabelecidos pelas comunidades de usuários e se concentram na solução de problemas cotidianos significativos dos usuários. O valor é co-criado principalmente para a comunidade de usuários, mas as empresas e a sociedade em geral também podem se beneficiar indiretamente. Os laboratórios vivos orientados pelo usuário têm vida longa, porque são construídos de comunidades. Estes LLs são menos comuns, e podem ser resultado de LLs orientados a facilitadores, em que uma comunidade de usuários finais é estimulada a participar e conduzir atividades inovadoras.

Segundo uma pesquisa realizada em 2013 com participantes de 64 LLs registrados na ENoLL, os tipos mais comuns de LLs são os orientados a usuários (*Utilizer-driven*) e os orientados a fornecedores (*Provider-driven* ou *American LLs*), enquanto os LLs orientados a facilitadores (*Enabler-driven Living Labs*) se mostram menos comuns. Já os LLs orientados a usuários (*User-driven*) se mostram bastante raros (sequer foram registrados empiricamente na referida pesquisa) e divergentes dos três primeiros em termos de foco inicial, pois tendem a se concentrar na rede de interessados e nos efeitos da rede (SCHUURMAN et al., 2013 p. 8).

Fica evidente, portanto, que a maioria dos LLs é realizada por iniciativa de empresas, alguns poucos por iniciativa de entes públicos, e raríssimas vezes por iniciativa direta da comunidade de usuários, modalidade na qual os benefícios são, em primeira instância, direcionados diretamente à comunidade envolvida.

Desta forma, também pode ser observado um caráter de ambivalência no desenvolvimento de projetos via LL por meio da ENoLL, já que, muito embora a metodologia se mostre bastante adequada para tratar temas de interesse ambiental, já que traz um cabedal de abordagens para desenvolvimento de projetos de natureza complexa e que envolvem temas transversais, o que se vê na prática é estas ferramentas estão sendo dominadas pelo interesses de empresas convencionais, que enxergam os LLs como uma ferramenta mais efetiva para desenvolvimento de produtos e serviços de sucesso comercial sob a ótica capitalista convencional, e não como uma forma alternativa de emancipação social, tendo o real benefício do usuário do produto ou serviço como objetivo principal.

### 3.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A presente seção tem como objetivo agregar e discutir as principais constatações elencadas nos capítulos anteriores, de forma a avaliar pontos em comum às diferentes iniciativas avaliadas, que podem indicar um caminho para o desenvolvimento das indústrias do futuro, conforme será discutido nas considerações finais.

Inegavelmente, o vínculo mais evidente da sustentabilidade com o atual modelo de indústria é o vínculo com a sustentabilidade econômica, que fica claro ao se avaliar os objetivos da i4.0, ao se estudar as origens ideológicas dos ODS ou ainda ao se avaliar o uso das ODS dentro do ambiente corporativo. As dimensões social e ambiental se situam à margem da lógica industrial convencional, e estão quase sempre associadas de forma conveniente a iniciativas que miram no lucro, mas por vezes acabam acertando, mesmo que indiretamente, eventuais benefícios ambientais ou sociais.

Neste sentido, no que tange à crise ambiental, não há evidências substanciais de que "digitalizar" o atual modelo de indústria (ou seja, "tornar a indústria 4.0"), baseado em um imaginário industrial de grande escala, que fomenta o consumismo, possa de fato se constituir em uma ação de enfrentamento à atual crise ambiental. Pelo contrário, seria razoável esperar justamente o contrário: o aumento da eficiência de produção industrial, como resultado destas novas capacidades, poderia causar estragos ainda mais rápidos.

Afinal há evidência de que a ideologia natural do conceito de i4.0, muito embora contenha novos elementos que podem ser associados aos esforços frente à crise ambiental, nasce, em primeira instância, como forma de amplificar os benefícios econômicos, produtivos e logísticos criados pela cadeia industrial, e, consequentemente, também corre um grande risco de amplificar os malefícios causados pelas práticas da indústria convencional, tais quais a eterna necessidade de crescimento econômico, o uso desenfreado de recursos ou os grandes monopólios industriais.

Somado a isso, o próprio levantamento de metodologias de "medição de maturidade i4.0", ilustrado no trabalho através de aplicação de uma destas metodologias em uma pesquisa prática, torna evidente que o motivo primordial de implementação de capacidades associadas à i4.0 é justamente o aumento da



eficiência dos processos industriais através de uma avaliação holística dos seus processos, sendo que aspectos de sustentabilidade social são tratados de forma (quando muito) complementar, e aspectos ambientais são, na maioria das vezes, simplesmente ignorados ou deixados à margem das atividades principais, que envolvem sobretudo a busca de maior competitividade (e consequentemente lucro) por meio de aumento da eficiência industrial.

A hipótese de que novas perspectivas associadas à expansão das capacidades da i4.0 têm pouca relação com a concepção de modelos de desenvolvimento mais sustentáveis no futuro, portanto, se confirma ao se avaliar de forma mais profunda os resultados (até então) do fenômeno da i4.0.

No entanto, todos os modelos de desenvolvimento avaliados no trabalho, muito embora também estejam também ligados ao desenvolvimento industrial de vanguarda, cujo novo imaginário remete aos elementos da i4.0, acabam extrapolando as possibilidades do imaginário industrial convencional. Assim, criam novas possibilidades de imaginários industriais alternativos, mais emancipatórios e inclusivos, que eventualmente poderiam, aos poucos, alterar o que se entende por “indústria” atualmente. Afinal, este entendimento já se alterou no passado, por ocasião das revoluções industriais anteriores (principalmente a primeira) e poderia muito bem passar novamente por uma revisão contundente, mesmo que seja para proteger a humanidade da própria humanidade.

Estas possibilidades ficam evidentes quando se percebe que a Tesla Motors não é apenas mais um fabricante de automóveis, mas também uma peça fundamental para se gerar a escalabilidade necessária para a concepção de um novo sistema de energia, descentralizado e baseado em recursos renováveis, onde emerge o conceito do prossumidor e o acesso à energia passa a ser mais democrático e universal, gerando uma perspectiva da humanidade se ver livre da situação de eterna refém dos interesses de grandes grupos econômicos e de conflitos geopolíticos que têm como origem estratégias energéticas de grandes grupos e nações.

Da mesma maneira, o Kickstarter não é apenas uma plataforma de financiamento, e sim uma forma revolucionária de democratizar e facilitar a forma com que as pessoas geram liquidez umas as outras, viabilizando projetos coletivos que jamais poderiam ser financiados sem esse tipo de ferramenta. E o Arduino também não é apenas uma ferramenta de prototipação rápida, mas também uma

forma de liberdade intelectual que chegou até o mundo das coisas, mais especificamente coisas eletrônicas para automação de processos, e que se torna cada vez mais acessível a qualquer pessoa.

Em relação a iniciativa OpenAI, pode-se afirmar que sistemas de inteligência artificial não são apenas formas de se acelerar processos corporativos, logísticos ou de produção industrial, mas também podem ser uma perspectiva de emancipação humana para atividades mais elaboradas, como a arte ou a literatura, assim que as máquinas resolverem todos os demais problemas mundanos. No caso da IA, ressalta-se ainda o risco de tecnologias muito elaboradas se tornarem exclusividade de poucos grandes grupos empresariais, o que poderia fazer com que os benefícios destas tecnologias se restringissem a poucos. Este é, aliás, um dos argumentos da iniciativa.

A empresa Block.One, além de criar uma nova moeda digital confiável, está revolucionando a eficiência energética nas transações financeiras via *blockchain*, e provando que é possível efetuar transações de forma alternativa ao atual sistema financeiro convencional. Observando o movimento dos projetos de criptomoedas, fica evidente que uma revolução nessa área pode chegar cedo e acontecer bem rápido. E da mesma forma que o *blockchain* pode permitir a não mais exigência de grandes instituições bancárias através de criptomoedas como a EOS, isso pode acontecer para quaisquer "entidades certificadoras" que dependam de legitimidade institucional para operar, como cartórios, citando apenas um exemplo.

Da mesma forma, o formato de desenvolvimento de projetos via LLs não é apenas uma metodologia que permite o trabalho de várias partes interessadas em um único projeto, mas uma forma de troca de ideias e mudanças de visão a partir da visão alheia, que pressupõe a democracia agonística ao invés do antagonismo, ou seja, a civilidade de se ter adversários ao invés de inimigos. Por esta característica, mostra um grande potencial para solução de demandas que envolvam aspectos ambientais, que tipicamente ocorrem em meio a conflitos e partes antagônicas.

Percebe-se, por meio destes exemplos, que o fenômeno da i4.0, além de transformações tecnológicas que evidentemente trarão pujança econômica às grandes indústrias que adotarem capacidades antecipadamente (da mesma forma que ocorreu nas três revoluções anteriores), traz também um elemento a mais: a possibilidade de emancipação aos pequenos atores da cadeia industrial.

São, evidentemente, diferentes formas de emancipação, a saber: emancipação tecnológica no caso do acesso a redes de energia distribuídas ou dos sistema de *hardware* livre; emancipação financeira no caso de financiamentos coletivos ou criptomoedas; emancipação metodológica e de condução de projetos no caso dos LLs; ou ainda emancipação cognitiva no caso dos sistemas de IA.

Em última instância, os resultados do trabalho suscitam que são estas possibilidades de emancipação de pequenos grupos e comunidades que, de fato, se relacionam diretamente com a capacidade de enfrentamento da crise climática, seja pela universalização da geração distribuída (Tesla Motors), seja pela democratização de financiamentos (Kickstarter), seja pela facilitação de uso de sistemas de controle e automação (Arduino), seja pelo acesso a algoritmos de IA (OpenAI), seja pela possibilidade de alternativas ao sistema financeiro convencional (Block.One) ou seja ainda por metodologias que auxiliem a conduzir projetos com partes antagônicas e diversas (ENoLL).

Assim, todas iniciativas avaliadas se mostraram, cada qual a sua maneira, como ferramentas que inegavelmente podem ser úteis para o enfrentamento à crise ambiental, afinal é evidente que nenhuma das possibilidades abertas pelas 6 iniciativas avaliadas, atualmente bastante acessíveis a pessoas comuns, eram completamente inacessíveis há poucas décadas atrás, salvo (em alguns dos casos) para grandes empresas, com grande capacidade de investimento. Em suma, abre-se um leque de ferramentas poderosas e universalmente acessíveis, que outrora eram bastante exclusivas ou sequer existiam.

O conceito de "alternativas infernais", usado por Isabelle Stengers (2015), e que trata de um discurso, em grande parte retórico, sobre situações formuladas de modo que não deixem outra escolha senão a resignação. No capítulo 5 da obra "No tempo das catástrofes", a autora traz exemplos desse discurso (STENGERS, 2015): "Vocês recusam uma piora no nível de vida e pedem aumento de salário? Vão ganhar a deslocalização de suas empresas"; "Recusam jornadas de trabalho insuportáveis? Outros ficarão contentes em substituí-los...". Neste sentido, as alternativas trazidas pelas iniciativas avaliadas poderiam contrapor o discurso das "alternativas infernais" na medida que trazem novas possibilidades de ação frente as hegemonias em suas respectivas searas, ao enfrentar discursos hegemônicos de alta carga retórica, a saber:

1. No caso da distribuição descentralizada de energia, discursos como: "Quer usar energia elétrica? Se resigne aos grandes projetos eletrointensivos (e aos consequentes estragos ambientais) ou passe a viver sem esse conforto."

2. No caso dos financiamentos coletivos, discursos como: "Precisa de crédito? Se resigne às regras de concessão, taxas e juros bancários ou então fique sem crédito e perca seu negócio."

3. No caso de sistemas de hardware livre, discursos como: "Precisa de um sistema de automação? Compre as soluções desenvolvidas por grandes empresas da área, ou fique sem automação e se torne obsoleto."

4. No caso de sistemas de IA, discursos como: "Precisa sistemas que envolvam inteligência de máquinas? Se resigne e arque com o custo de compra de soluções de grandes empresas da área, ou então faça do jeito antigo e fique pra trás."

5. No caso das criptomoedas, discursos como: "Precisa transacionar recursos financeiros? Se resigne às regras, taxas e condições dos Estados e das grandes instituições financeiras ou então passe a fazer apenas escambo, como na pré-história."

6. No caso de Living Labs, discursos como: "Quer escutar todas as partes interessadas ao fazer um projeto que envolvam muitos atores? Esse nível de democracia é impossível, é inviável escutar todos, as minorias que se adaptem aos resultados ou então não haverá projeto para ninguém."

A hipótese de que certas iniciativas, diretamente associadas ao fenômeno da i4.0, têm razoável potencial para se projetarem como possibilidades de enfrentamento da atual crise ambiental ao possibilitarem a criação de modelos de desenvolvimento alternativos ao modelo capitalista hegemônico, portanto, se confirma nesse sentido.

No entanto, é justamente neste mesmo ponto que podem residir alguns perigos: Afinal, ao se abrirem novas possibilidades universais, que viabilizam modelos alternativos ao modelo hegemônico, é imprescindível lembrar que estas novas possibilidades também podem alimentar o próprio sistema hegemônico, na

medida em que este conseguir se apropriar destas novidades e transformá-las em lucro a qualquer custo.

Isso fica evidente ao se avaliar que todas as alternativas avaliadas, em diferentes medidas, também possuem indícios de similaridades ao modelo industrial hegemônico, que, como já discutido, se mostro como principal motor propulsor da atual crise ambiental, que são mencionadas na última coluna do quadro 10.

Essa ressalva é importante, posto que caso essas iniciativas passem a alimentar o próprio sistema hegemônico de forma mais substancial do que alimentam as suas alternativas, poderia surgir mais um exemplo de “alternativa infernal”, no sentido de que não interessaria quantas formas alternativas de desenvolvimento mais sustentável possam ser criadas, já que estas sempre servirão de forma ainda mais intensa como fomento do próprio sistema capitalista convencional, impregnado de tal maneira na conduta humana a ponto de representar uma força invencível, que tem o poder de capitalizar tudo o que gera algum valor, e assim alimentar um sistema voraz que inevitavelmente acabará por agravar a crise ambiental.

Assim, de forma a também destacar esses pontos de atenção, o quadro 10 resume, para cada um dos 6 temas e suas respectivas iniciativas abordadas no presente trabalho, tanto os indícios de alternatividade ao sistema hegemônico, que poderiam representar alternativas “não-infernais”, quanto os indícios de similaridade ao sistema hegemônico, que, por sua vez, poderiam levar a novas “alternativas infernais”, que em última instância levariam a total resignação de ativistas, já o raciocínio levaria a crer que não haveria concorrente substancial no páreo frente ao modelo hegemônico capitalista.

QUADRO 10 – QUADRO COMPARATIVO DAS INICIATIVAS AVALIADAS

Tema	Iniciativa	Indícios de alternatividade ao modelo industrial hegemônico	Indícios de similaridade ao modelo industrial hegemônico
2.3.1 Energias renováveis, geração distribuída e Smart Grids	<b>3.3.1 Tesla Motors</b>	Propõe soluções alternativas para armazenamento massivo e descentralizado de energia elétrica, que por sua vez tem grande potencial de gerar maior independência dos consumidores	Empresa arraigada a valores tradicionais, tais quais o enriquecimento de acionistas, fomento ao consumo e concentração de capital.
2.3.2 Financiamentos coletivos	<b>3.3.2 Kickstarter</b>	Tende ao cooperativismo e ao respeito de princípios éticos, e permite universalizar o fornecimento recíproco de liquidez financeira entre atores que isoladamente apresentam pouca ou nenhuma representatividade perante o sistema econômico mundial vigente.	Ao facilitar a escalabilidade da indústria, também permite a aceleração do modelo industrial convencional que gerou a crise ambiental atual.
2.3.3 Software e Hardware Livre: O movimento Open Source	<b>3.3.3 Arduino</b>	Possui grande potencial emancipatório para o cidadão comum, sem grandes capacidades de investimento ou conhecimento profundo sobre sistemas eletrônicos de controle.	Permite o desenvolvimento rápido de soluções comerciais a partir de esforços coletivos alheios, o que, de certa maneira, iria contra a própria filosofia open source.
2.3.4 Sistemas de inteligência artificial	<b>3.3.4 Open AI</b>	A empresa tem intenção de fomentar a solução de problemas em escala planetária em áreas onde a humanidade supostamente estaria falhando e para as quais não há solução óbvia hoje.	Uma parte do próprio projeto possui fins lucrativos e estrutura de uma empresa convencional, a "OpenAI LP". No entanto, usa um modelo de "lucro limitado".
2.3.5 O Blockchain e suas possíveis aplicações	<b>3.3.5 Block.one</b>	Oferece um modelo alternativo e até mesmo uma ameaça ao sistema financeiro hegemônico (grandes instituições financeiras).	Se utiliza de métodos como concentração de capital e especulação financeira, esta última comum à praticamente todas criptomoedas com maior volume de transações.
2.3.6 Laboratórios vivos (Living Labs)	<b>3.3.6 ENoLL</b>	Metodologia bastante adequada para tratar temas de interesse ambiental, já que traz um cabedal de abordagens para desenvolvimento de projetos de natureza complexa e que envolvem atores antagônicos e temas transversais.	Os projetos de LLs são dominados pelo interesses de empresas convencionais, que os enxergam como uma ferramenta mais efetiva para desenvolvimento de produtos e serviços de sucesso comercial sob a ótica capitalista convencional.

FONTE: Autor

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas algumas breves considerações finais a respeito da seção 3.4., de forma a especular a respeito de eventuais cenários futuros, assim como indicar novos caminhos de pesquisa.

Conclui-se, portanto, que a crise ambiental mostra de forma cada vez mais clara que o mundo requer novos processos industriais, menos agressivos, mais racionais e participativos, e não apenas a simples digitalização da indústria atual, sob o risco de se acelerar ainda mais um processo já bastante problemático em relação à crise ambiental.

Ao invés de uma indústria convencional mais rápida e lucrativa, por meio dos novos caminhos apresentados sob forma de 6 iniciativas, se vislumbra a possibilidade do florescimento não apenas novas ferramentas para emancipação de iniciativas alternativas ao modelo hegemônico, mas até mesmo, a longo prazo, da mudança do próprio conceito de indústria, de forma a se gerar um novo imaginário industrial na humanidade, como já ocorreu antes na história humana após a primeira revolução industrial e (de maneira análoga) até mesmo antes, quando o *homo sapiens* passou de um ser coletor caçador e iniciou práticas de agricultura, ou quando a humanidade passa a viver em grandes civilizações.

Afinal, a longo prazo a geração distribuída poderia acabar com a necessidade de empreendimentos de geração eletrointensiva, os sistemas de automação e controle *open source*, baseados em IA e de baixo custo poderiam descentralizar e democratizar a produção industrial, os financiamentos e transações poderiam ser realizados por plataformas de *crowdfunding* e criptomoedas sem necessidade de instituições certificadoras que detém grande poder, e projetos de desenvolvimento mais democráticos e participativos poderiam levar a resultados que poderiam se refletir em um mundo mais eficiente e justo no ambiente industrial.

Levantadas estas possibilidades, convém que o rumo destas (e de outras) alternativas com potencial de mudança do imaginário industrial sejam monitoradas e melhor investigadas a nível científico, no intuito de se descobrirem formas de fomento e boa condução das mesmas. Caberia aqui ressaltar a importância de:

- a) Estudos quantitativos em relação ao crescimento (ou não) e da abrangência dessas alternativas;
- b) Investigação de novas alternativas, e;
- c) As implicações regulatórias de todas essas (eventuais) mudanças, de forma que os sistemas jurídicos também possam proteger de forma efetiva as partes hipossuficientes neste processo de transformação industrial.



No entanto, também é evidente que o sistema hegemônico possui um grande momento<sup>51</sup> inercial, que acaba cotidianamente atropelando alternativas e enquadrando-as como produtos de prateleira, devidamente adequados às regras vigentes. Nesse sentido, o presente trabalho trouxe razoáveis evidências de que o agravamento ou não da crise ambiental não se mostra como um ponto essencial nos rumos do desenvolvimento industrial nos moldes do que se convencionou chamar i4.0, afinal, a última instância é o dinheiro, e dinheiro não tem cheiro<sup>52</sup>. Nesta lógica, ressalta-se a importância das iniciativas Kickstarter, Arduino e OpenAI, que, mesmo que em diferentes medidas, levam diretamente em consideração aspectos da emancipação humana em seus próprios princípios de funcionamento, de forma a limitar ou estabelecer regras mais razoáveis em relação aos lucros gerados.

Não há como saber que modelo irá prevalecer, mesmo que seja evidente a necessidade de um novo imaginário industrial para a possibilidade de um mundo mais sustentável. Um novo imaginário que ao invés de ter a economia como fator principal, na forma do lucro para o acionista como um objetivo ostensivo, passe a ter a emancipação humana nas suas mais variadas formas como objetivo basilar, respeitando os limites naturais, criando novas ocupações, novas possibilidades, mercados alternativos, novas organizações e novas cadeias de valor.

Não há como prever o futuro. Ao se avaliar o retrato atual, onde mesmo as alternativas levantadas no trabalho acabam, em diferentes medidas, sucumbindo às forças do sistema hegemônico, cria-se mais uma retórica de “alternativa infernal”, de forma a esvair qualquer esperança de mudança ou combate efetivo à crise ambiental. Assim, ao invés de olhar para o retrato atual, estático, o que leva invariavelmente a considerações pouco otimistas, convém se ter um olhar em relação a dinâmica da história (ao menos) desde a primeira revolução industrial.

Ao se observar de forma dinâmica os processos de mudança de modelos sociais e industriais, percebe-se que ao mesmo tempo que estas alternativas ao modelo industrial convencional também são agregadas pelo sistema capitalista hegemônico, e que em certa medida podem alimentar ainda mais este sistema, também é evidente que há poucas décadas essas possibilidades sequer existiam e, acanhadas ou não, provavelmente seguirão existindo e emancipando pessoas e

---

<sup>51</sup> No sentido físico, de quantidade de movimento.

<sup>52</sup> Máxima famosa em latim (*“pecunia non olet”*) que trata de uma cláusula tributária que estabelece que para o fisco pouco importa se os rendimentos tributáveis tiveram ou não fonte lícita ou moral.

comunidades, e portanto poderiam ser os primeiros indícios de uma grande mudança que ainda estaria por chegar.

Como já disse o escritor Émile-Auguste Chartier<sup>53</sup>, “o pessimismo é humor; o otimismo é vontade”.

*Dum spiro spero*<sup>54</sup>.

---

<sup>53</sup> Citado em "*La morale d'Alain*" - Página 51, de Henri Giraud - Publicado por E. Privat, 1970 - 286 páginas.

<sup>54</sup> Frase em latim atribuída a Teócrito e Cícero, que significa "enquanto eu respiro, eu espero", ou ainda "enquanto eu respiro ainda há esperança".

## REFERÊNCIAS

ACATECH. **Academy**. 2019. Disponível em: <<http://en.acatech.de/academy/>>. Acesso em: 4 abr. 2019.

AMARO, Mariana. **Vire sócio de uma startup com 1000 reais: Sites ajudam quem quer se tornar sócio de startups por valores baixos**. 2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-voce-sa/edicoes/198/noticias/vire-socio-de-uma-startup-por-1-000-reais>>. Acesso em: 23 maio 2016.

ANTUNES, J. I. A. S.. **Geopolítica Das Renováveis Implicações Do Novo Paradigma Para a Península Ibérica**. 2014. 55 f. Universidade do Porto, 2014.

ARDUINO. **What is Arduino?** 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ARTAXO, Paulo. **Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?**. Revista Usp, n. 103, p. 13-24, 2014.

AZEVEDO, Renata Trompowsky Taulois de. **Crowdfunding no Brasil: Percepção do empreendedor na utilização do Crowdfunding**. UNICEUB. Brasília, 2015.

BAYGIN, M. et al. **An Effect Analysis of Industry 4.0 to Higher Education**. 2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2016.

BASSI, Lorenzo. Industry 4.0: Hope, hype or revolution?. In: **2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)**. IEEE, 2017. p. 1-6.

BBVA (research). **U.S. Economic Outlook (Second Quarter 2013)**. Disponível em <http://web.spaincrowdfunding.org/wp-content/uploads/2013/10/BBVA-outlook-for-crowdfunding.pdf>. p. 28-34. Acesso em 22/05/2016.

BERGVALL-KÅREBORN, Birgitta; STÅHLBRÖST, Anna. **Living Lab: an open and citizen-centric approach for innovation**. International Journal of Innovation and Regional Development, v. 1, n. 4, p. 356-370, 2009.

BODEN, Margaret A. **AI: Its nature and future**. Oxford University Press, 2016.

BRACCINI, Alessio Maria; MARGHERITA, Emanuele Gabriel. **Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company**. Sustainability, v. 11, n. 1, p. 36, 2019.

BRASIL. BNDES; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES - MCTIC. **Produto 8 – Relatório do Plano de Ação**. Iniciativas e Projetos Mobilizadores. Brasília, 2017a.

BRASIL. INSTITUTO EUVALDO LODI. **Mapa de Clusters Tecnológicos e Tecnologias Relevantes para Competitividade de Sistemas**

**Produtivos: Indústria 2027: Riscos e Oportunidade para o Brasil diante Inovações Disruptivas.** Brasília, 2017b.

BRASIL, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES - MCTIC. **Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil, ProFuturo, Produção do Futuro.** Brasília, DF: MCTIC, 2017C.

BREHM, Marcos Alfred; MONGRUEL, Felipe Christoforo; DE SOUZA LIMA, José Edmilson. **Cultura do Código Livre e direito de acesso a uma tecnociência alternativa.** Emancipação, v. 14, n. 1, p. 47-60, 2014.

BRITO, Jerry; CASTILLO, Andrea. **Bitcoin: A primer for policymakers.** Mercatus Center at George Mason University, 2013.

BUGHIN, Jacques et. al. **Artificial intelligence the next digital frontier?.** McKinsey and Company Global Institute, p. 47, 2017.

CHAVEZ-DREYFUSS, Gertrude. **Virtual company may raise \$200 million, largest in crowdfunding.** 2016. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/us-blockchain-crowdfunding-idUSKCN0Y82LI>>. Acesso em: 23 maio 2016.

CLARK, Timothy. **Ecocriticism on the edge: The Anthropocene as a threshold concept.** Bloomsbury Publishing, 2015.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial: Indústria 4.0.** Indicadores CNI. ISSN 2317-7330. Ano 17. Número 2. CNI, 2016

COINMARKETCAP. **EOS (EOS).** 2020. Disponível em: <https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/eos/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

COLLIN, P. H. **Dictionary of Environment & Ecology.** Bloomsbury: Londres, 2004.

CONTROLLINO. **CONTROLLINO: Welcome to the World of CONTROLLINO!.** 2019. Disponível em: <<https://controllino.biz/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

CRIEKEMANS, D. **The geopolitics of renewable energy: different or similar to the geopolitics of conventional energy?** ISA Annual Convention 2011, Montréal, Québec, Canada, Global governance: political authority in transition. Panel “Geopolitics, Power Transitions, and Energy” Saturday, March 19, 2011.

CUARTIELLES, David. **How deep is your love? On open-source hardware.** Ehn, P.; Nilsson, E.; Topgaard, 2014.

CUARTIELLES, David. **Arduino FAQ.** Prototyping Futures, ss. 52-53. Medea, Malmö University. 2012.

DAS, Arnab. **Industrial revolution 4.0: ghosts of disruption past, present and future.** Invesco Investment, 2018.

DE CAROLIS, Anna et al. **A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies**. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham, 2017. p. 13-20.

DE FELICE, F.; PETRILLO, A.; ZOMPARELLI, F. **A bibliometric multicriteria model on smart manufacturing from 2011 to 2018**. IFAC-PapersOnLine, v. 51, n. 11, p. 1643-1648, 2018.

DELANDA, Manuel. **Open-Source: A movement in Search of a Philosophy**. Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, 2001.

DELOITTE. **Digital Maturity Model: Achieving digital maturity to drive growth**. Nova Iorque: Deloitte, 2018. 24 slides, color.

DOS SANTOS, Renato P. **On the Philosophy of Bitcoin/Blockchain Technology: Is it a Chaotic, Complex System?**. Metaphilosophy, v. 48, n. 5, p. 620-633, 2017.

DRATH, Rainer. **Industrie 4.0—eine Einführung**. Open automation, v. 3, p. 17-21, 2014.

EL-ABD, Mohammed. **A review of embedded systems education in the arduino age: lessons learned and future directions**. International Journal of Engineering Pedagogy, v. 7, n. 2, p. 79-93, 2017.

ELEUTHEREUM. **Blockchain App Platform**. 2014. Disponível em: <<https://www.ethereum.org/>>. Acesso em: 23 maio 2016.

ELKINGTON, John. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. New Society: Stony Creek, CT, 1997.

EMILSON, Anders et al. **Making futures: Marginal notes on innovation, design, and democracy**. MIT Press, 2014.

EOS. **EOC VC**. 2020. Disponível em: <https://vc.eos.io/grants/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

EUROPEAN NETWORK OF LIVING LABS (ENOLL). **About us**. 2019. Disponível em: <<https://enoll.org/about-us/>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

FELCH, Vanessa; ASDECKER, Björn; SUCKY, Eric. **Maturity models in the age of Industry 4.0: Do the available models correspond to the needs of business practice?**. In: Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. 2019.

FLORIANI, Dimas. **História da construção da Pós-Graduação Interdisciplinar em Meio Ambiente e Desenvolvimento (PPGMADE-UFPR): aspectos epistemológicos, metodológicos e institucionais**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 47, 2018.

FOGEL, K. **Producing Open Source Software: How to Run a Successful Free Software Project**. 2 ed. Newton: O'Reilly Media, 2017.

FORBES (Estados Unidos). **#31 Elon Musk: CEO and Chairman, Tesla**. 2020. Disponível em: <https://www.forbes.com/profile/elon-musk/#57b24ab37999>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. **The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?**. Technological Forecasting and Social Change, v. 114, p. 254-280, 2017.

GATES, Doug; BREMICKER, Michael. **Beyond the hype—Separating ambition from reality in i4. 0**. KPMG, 2017.

GAUD, W. S. **The green revolution: accomplishments and apprehensions**. AgBioWorld. 1968.

GNU. **Sistema Operacional GNU**. 2019. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.pt-br.html>. Acesso em: 16 out. 2019.

GOOGLE. **Google Trends**. 2019. Disponível em: <https://trends.google.com/trends/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: building the digital enterprise: 2016 global industry 4.0 survey**. PwC, Munich, 2016.

GERMANY TRADE & INVESTMENT [GTAI]. **Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future**. Berlim: GTAI, 2014. Disponível em: [http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/\\_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smartmanufacturing-for-the-future-en.pdf](http://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smartmanufacturing-for-the-future-en.pdf). Acesso em: 15 ago de 2017.

GUIMARÃES, Luiz Fernando Lourenço. **Sistema de produção capitalista: da exploração acachapante ao capital escolado**. Revista Eletrônica do Tribunal Regional do Trabalho da 5ª Região, 2014.

HARARI, Yuval Noah. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. L&PM, 2015.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HERWEIJER, C.; WAUGHTRY, D.; WARREN, S. **Building block (chain) s for a better planet**. In: World Economic Forum. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Building-Blockchains.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf). 2018.

HIRSCH-KREINSEN, Hartmut; WEYER, J.; WILKESMANN, Prof Dr M. **"Industry 4.0" as Promising Technology: Emergence, Semantics and Ambivalent Character**. Universitätsbibliothek Dortmund, 2016.

HORN, Guilherme. **Bitcoin: uma solução em busca do problema**. 2016. Disponível em: <<http://link.estadao.com.br/blogs/seu-bolso-na-era-digital/bitcoin-uma-solucao-em-busca-do-problema/>>. Acesso em: 23 maio 2016.

HOSSAIN, Mokter; LEMINEN, Seppo; WESTERLUND, Mika. **A systematic review of living lab literature**. Journal of Cleaner Production, v. 213, p. 976-988, 2019.

INDIEGOGO. **Philips PicoPix Max - 1080p Full HD Pico Projector**. 2019. Disponível em: [https://www.indiegogo.com/projects/philips-picopix-max-1080p-full-hd-pico-projector#](https://www.indiegogo.com/projects/philips-picopix-max-1080p-full-hd-pico-projector#/)/. Acesso em: 10 abr. 2020.

INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM [IIC]. **Industrial Internet Consortium & Plattform Industrie 4.0**. 2016. Disponível em: <<http://www.iiconsortium.org/iic-and-i40.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

INDUSTRIAL SHIELDS. **INDUSTRIAL SHIELDS: Automate your application based on open source**. 2019. Disponível em: <<https://www.industrialshields.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

INDUSTRUINO. **About Industruino**. 2019. Disponível em: <<https://industruino.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

INTEL. **Discontinued Maker & Innovator Products**. 2019. Disponível em: <<https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/discontinued>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Souza et al. **Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations**. Annals of Operations Research, v. 270, n. 1-2, p. 273-286, 2018

JAEGER, Markus. **Demography and the global economy – “continental” drift is well underway**. Frankfurt Am Main: Deutsche Bank Research, 2015. Disponível em: <[https://www.dbresearch.com/PROD/RPS\\_EN-PROD/PROD0000000000441851/Demography\\_and\\_the\\_global\\_economy\\_-\\_“continental”\\_.PDF](https://www.dbresearch.com/PROD/RPS_EN-PROD/PROD0000000000441851/Demography_and_the_global_economy_-_“continental”_.PDF)>. Acesso em: 10 mar. 2018.

JANUZZI, Gilberto de Martino. **Políticas Públicas para Eficiência e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado**. Campinas: Autories Associados, 2000.

JESIEK, Brent. **Democratizing software: Open source, the hacker ethic, and beyond**. First Monday, v. 8, n. 10, 2003.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. **Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives**. Process Safety and Environmental Protection, v. 117, p. 408-425, 2018.



KASPAROV, Garry. **Chess, a Drosophila of reasoning**. Editorial. Science 362. 2018.

KICKSTARTER. **Our mission is to help bring creative projects to life**. 2020. Disponível em: <https://www.kickstarter.com/about>. Acesso em: 10 abr. 2020.

KSHETRI, Nir. **Success of Crowd-based Online Technology in Fundraising: An Institutional Perspective**. Journal of International Management, v. 21, n. 2, p. 100-116, 2015.

LAURIANO, Lucas Amaral. **Rumo à integração da sustentabilidade no sistema de gestão empresarial**. Caderno de Ideias, FDC. Nova Lima, 2012. Disponível em: <http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital/Cadernos%20de%20Id%C3%A9ias/2012/CI1209.pdf> Acesso em: 30/01/2020

LEE, Sherman. **Bitcoin's Energy Consumption Can Power An Entire Country -- But EOS Is Trying To Fix That**. 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/shermanlee/2018/04/19/bitcoins-energy-consumption-can-power-an-entire-country-but-eos-is-trying-to-fix-that/#43ac54a71bc8>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LEOPOLD, T.; STEFANOVA, V.; ZAHIDI, R. **The future of jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**. In: Geneva: World Economic Forum. 2016.

LEOPOLD, T.; STEFANOVA, V.; ZAHIDI, R. **The future of Jobs. Report 2018**. In: Geneva: World Economic Forum. 2018.

LEYH, Christian et al. **SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0**. In: 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE, 2016. p. 1297-1302..

LICHTBLAU, K. et al. **IMPULS-industrie 4.0-readiness**. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.

LITVIN, Aron Krause et al. **Os Living Labs como plataforma de metaprojeção, sustentabilidade e inovação social**. Mix Sustentável, v. 1, n. 2, p. 101-107, 2015.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej; SVITEK, Miroslav. **Industry 4.0 as a part of smart cities**. In: 2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP). IEEE, 2016. p. 1-6.

MAIR, Mathias. **Enlightened entrepreneurship: the success of Elon Musk**. 2016.

MALTHUS, Thomas Robert. **An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society**, with remarks on the speculations of Mr Godwin, M. Condorcet, and other writers. London: J. Johnson, 1798.

MANYIKA, J. et al., **A future that works: Automation, employment, and productivity**. McKinsey Global Institute, New York, NY, 2017.

MARIANI, Marcello; BORGHI, Matteo. **Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries**. Technological Forecasting and Social Change, v. 149, p. 119752, 2019.

MASSOLUTION. **Crowdfunding Industry Report 2015**. Disponível em: <[http://reports.crowdsourcing.org/index.php?route=product/product&product\\_id=54](http://reports.crowdsourcing.org/index.php?route=product/product&product_id=54)>. Acesso em: 22 de Maio de 2016.

MAZZUCO, Eduardo; TEIXEIRA, Clarissa Stefani. **Living Labs: Intermediários da Inovação**. REAVI-Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí, v. 6, n. 9, p. 87-97, 2017.

MEADOWS, Donella H. et al. **The limits to growth**. New York, v. 102, p. 27, 1972.

MENDONÇA, Francisco; DIAS, Mariana Abdreotti. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Curitiba: Intersaberes, 2019.

MESCOLOTI, Renan Scatena; BATISTUZO, Fernando. **A JORNADA DE TRABALHO E SUA EVOLUÇÃO: ASPECTOS RELEVANTES**. ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498, v. 12, n. 12, 2016.

MEYER, Pauline. **Tesla Inc.'s Organizational Structure & Its Characteristics (Analysis)**. 2018. Disponível em: <http://panmore.com/tesla-motors-inc-organizational-structure-characteristics-analysis>. Acesso em: 13 abr. 2020.

MITCHELL, Val et al. **Empirical investigation of the impact of using co-design methods when generating proposals for sustainable travel solutions**. CoDesign, v. 12, n. 4, p. 205-220, 2016.

MÖBERT, Jochen (2018). **Bitcoin: Myths, misconceptions and misunderstandings**. Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, 2018.

MOLLICK, Ethan R. **Containing multitudes: the many impacts of Kickstarter funding**. Available at SSRN 2808000, 2016.

MONTEIRO, M. C. P. **Crowdfunding no Brasil: uma análise sobre as motivações de quem participa**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Executivo em Gestão Empresarial, Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/13384>>. Acesso em: 22 de Maio de 2015.

MORAES, Julio Lucchesi. **A Quarta Revolução Industrial: Internet Industrial e o Projeto de Desenvolvimento Digital Alemão**. Boletim Fipe, São Paulo, v. 2, n. 482, p.22-25, set. 2016. Mensal. Disponível em: <<http://downloads.fipe.org.br/content/downloads/publicacoes/bif/bif432-22-25.pdf>>. Acesso em: 15 ago de 2017.

MOUFFE, Chantal et al. **On the political**. Psychology Press, 2005.  
MUEHLENBEIN, Michael P. (Ed.). **Basics in human evolution**. Academic Press, 2015.

MUSSO, Pierre. **Imagining factories, factories that imagine, the imagined factory**. Digital Issues - nº7. 2019.

MUNDIAL, Banco. **Crowdfunding's Potential for the Developing World**. 2013.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008.

NASDAQ (Estados Unidos). **Quotes For NASDAQ-100 Index**. 2020. Disponível em: <https://www.nasdaq.com/market-activity/quotes/nasdaq-ndx-index>. Acesso em: 10 abr. 2020.

NAVARRO, Rômulo Feitosa. **A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna**. Revista eletrônica de materiais e processos, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2006.

OICA - INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. **2019 PRODUCTION STATISTICS**. 2020. Disponível em: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OLIVEIRA, Álvaro; BRITO, David Amaral. **Living Labs: A experiência Portuguesa**. Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad, v. 8, n. 23, p. 201-229, 2013.

OPEN PLC. **Open PLC: Designed to be open source**. 2019. Disponível em: <<http://www.openplcproject.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

OPEN AI. **Introducing Open AI**. 2015. Disponível em: <<https://blog.openai.com/introducing-openai/>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

OPENAI GYM. **Getting Started with Gym**. Disponível em: <https://gym.openai.com/docs/#getting-started-with-gym>. Acesso em: 20 abr. 2020.

OPENAI. **OpenAI LP**. 2020. Disponível em: <https://openai.com/blog/openai-lp/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU **Transformando Nosso Mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>> Acesso em: 10 mar. 2020.

ORTEGA, Ralph. **Tesla becomes the most valuable US car maker of all time with a market value of \$81.39billion - surpassing Ford Motor's peak of \$80.81billion set in 1999**. 2020. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7862239/Tesla-valuable-car-maker-time-market-value-81-39billion.html>. Acesso em: 10 abr. 2020.

OSI. **Open Source Initiative**. 2019. Disponível em: <<https://opensource.org/history>>. Acesso em: 16 out. 2019.

O'SULLIVAN, M. e SANDALOW, D. e OVERLAND, I. **The Geopolitics of Renewable Energy**. . New York: [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/energy/CGEPTheGeopoliticsOfRenewables.pdf>>. Acesso em: 4 ago 2017.

PIERRI, N. O. **O processo que conduz à proposta hegemônica de desenvolvimento sustentável e as alternativas em discussão**. Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal do Paraná, 2002.

PIXTEND. **PIXTEND: Every project needs a solid base**. 2019. Disponível em: <<http://www.pixtend.de/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. **The background to Plattform Industrie 4.0**. 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html>>. Acesso em: 4 abr. 19.

POPPER, Nathaniel. **A Venture Fund With Plenty of Virtual Capital, but No Capitalist**. 2106. Disponível em: <[http://www.nytimes.com/2016/05/22/business/dealbook/crypto-ether-bitcoin-currency.html?\\_r=2](http://www.nytimes.com/2016/05/22/business/dealbook/crypto-ether-bitcoin-currency.html?_r=2)>. Acesso em: 23 maio 2016.  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - PPGMADE. **Objetivos**. 2020. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/site/ppgmade/objetivos/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

RAHMAN, Hakikur; RAMOS, Isabel. **Open Innovation in SMEs: From closed boundaries to networked paradigm**. Issues in Informing Science and Information Technology, v. 7, n. 4, p. 471-487, 2010.

RAMOS, Enrique. **Arduino basics**. In: **Arduino and Kinect Projects**. Apress, Berkeley, CA, 2012. p. 1-22.

RASPBERRY PI. **Raspberry Pi – About us**. 2019. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

RIO+20 (Brasil). **Sobre a Rio+20**. Disponível em: <[http://www.rio20.gov.br/sobre\\_a\\_rio\\_mais\\_20.html](http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ROCHDALE PIONEERS MUSEUM. **The Rochdale principles**. Disponível em <http://www.rochdalepioneersmuseum.coop/about-us/the-rochdale-principles/>. Acesso em 23/05/2016.

RODRÍGUEZ-MOLINA, Jesús; MARTÍNEZ, José-Fernán; CASTILLEJO, Pedro. **A Study on Applicability of Distributed Energy Generation, Storage and Consumption within Small Scale Facilities**. *Energies*, v. 9, n. 9, p. 745, 2016.

ROSER, Hannah Ritchie And Max. **Energy Production & Changing Energy Sources**. 2019. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>>. Acesso em: 12 set. 2019.

ROSER, Max; ORTIZ-OSPINA, Esteban. **World population growth**. Published online at OurWorldInData. org. Disponível em: <http://ourworldindata.org/data/populationgrowth-vital-statistics/world-population-growth/>[Online Resource]. Acesso em 10.3.2019

ROSS, Sean. **Elon Musk's Best Investments**. 2020. Disponível em: <https://www.investopedia.com/articles/investing/031316/elon-musks-5-best-investments-tsla-pypl.asp>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, Jania Astrid et al. **Industry 4.0 framework for management and operations: a review**. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, p. 1-13, 2017.

SEDGWICK, Kai. **EOS Has a \$1 Billion War Chest – But Will Larimer Stick Around Long Enough to Enjoy It?** 2020. Disponível em: <https://news.bitcoin.com/eos-1-billion-war-chest-will-dan-larimer-stick-around-long-enough-enjoy/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SCHOLTEN, D. e BOSMAN, R.. **The geopolitics of renewables; exploring the political implications of renewable energy systems**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 103, p. 273–283, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.10.014>>.

SCHUH, Günther et al. **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)** Herbert Utz Verlag, Munich, 2017

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. **A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. *Procedia Cirp*, v. 52, p. 161-166, 2016.

SCHIO, NATÁLIA DA SILVA et al. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as Empresas Participantes do Mercado Acionário Brasileiro**. *Anais do XIX USP International Conference in Accounting*, São Paulo, 2019

SCHUURMAN, Dimitri et al. **A fourfold typology of living labs: an empirical investigation amongst the ENoLL community**. In: 2013 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE) & IEEE International Technology Management Conference. IEEE, 2013. p. 1-11.

SILVA, Sílvio Bitencourt da. **Um estudo exploratório sobre orquestração em Living Labs brasileiros**. *Revista Interdisciplinar de Gestão Social*, v. 4, n. 2, 2015.

SILVA, Silvio Bitencourt; BITENCOURT, Claudia Cristina. **Gestão de Recursos Relacionais para o Desenvolvimento de Inovações Sociais em Living Labs: O Caso do Habitat Living Lab de Vitória, ES**. *EnANPAD*, São Paulo, 2018.

STALLMAN, R. M. **The GNU Manifesto**. Free Software Foundation. 1985.

STEFFEN, Will et al. **Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet**. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2015.

STERGIOU, Dimitrios. **EOS Cryptocurrency Initial Coin Offering: A case study: How the EOS cryptocurrency raised more than \$4.4 billion in its 2017 ICO**. *BLEKINGE TEKNISKA HÖGSKOLA - MBA Program*. 2019.

SUBRAMANIAN, Meera. **Anthropocene now: influential panel votes to recognize Earth's new epoch: 'Atomic Age' would mark the start of the current geologic time unit, if proposal receives final approval**. 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/d41586-019-01641-5>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

STENGERS, Isabelle. **No tempo das catástrofes**. São Paulo: Cosac Naify, p. 71, 2015.

TERRY, Heath P.; SCHWARTZ, Debra; SUN, Tina. **The Future of Finance: The Socialization of Finance**. Nova Iorque: Goldman Sachs, 2013.

TESLA. **Tesla Q4 2019 Vehicle Production & Deliveries**. 2020. Disponível em: <https://ir.tesla.com/news-releases/news-release-details/tesla-q4-2019-vehicle-production-deliveries>. Acesso em: 10 abr. 2020, 2020a.



TESLA. **About Tesla**. 2020. Disponível em: <https://www.tesla.com/about>. Acesso em: 10 abr. 2020b.

THE DAO. **The DAO**. 2016. Disponível em: <https://daohub.org/>. Acesso em: 23 maio 2016.

THE ECONOMIST. **The DAO of accrue: A new, automated investment fund has attracted stacks of digital money**. Disponível em: <http://www.economist.com/news/finance-and-economics/21699159-new-automated-investment-fund-has-attracted-stacks-digital-money-dao>. Acesso em: 23 maio 2016.

THE ECONOMIST. **Triple bottom line. It consists of three Ps: profit, people and planet**. 2009. Disponível em: <https://www.economist.com/news/2009/11/17/triple-bottom-line>. Acesso em: 30 jan. 2020.

TURNEY, Chris SM et al. **Global Peak in Atmospheric Radiocarbon Provides a Potential Definition for the Onset of the Anthropocene Epoch in 1965**. Scientific reports, v. 8, n. 1, p. 3293, 2018.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects The 2017 Revision: Key Findings and Advance Tables**. New York: United Nations, 2017. Disponível em: [https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf). Acesso em: 15 mar. 2018.

U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analysis - US-EIA. **Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050**. Washington, Dc, 2019. Disponível em: <http://www.eia.gov/aeo>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VALENTIN, Michael. **The Tesla Way: The disruptive strategies and models of Teslism**. Kogan Page Publishers, 2019.

VEIGA, José Eli da. **A primeira utopia do antropoceno**. Ambiente & Sociedade, v. 20, n. 2, p. 227-246, 2017.

VELARDE, Gissel. **Artificial Intelligence and its impact on the fourth industrial revolution: A Review**. International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA) Vol.10, No.6. 2009.

VERMULM, Roberto et al. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2018.

WATERS, Colin N. et al. **The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene**. Science, v. 351, n. 6269, p. aad2622, 2016.



WATERS, Colin N. et al. **Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the Anthropocene Epoch?**. Bulletin of the Atomic Scientists, v. 71, n. 3, p. 46-57, 2015.

WESTERMANN, Thorsten et al. **Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry**. In: DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference. 2018. p. 3041-3052.

WINEBRAKE, James J.; GREEN, Erin H.; CARR, Edward. **Plug-In Electric Vehicles: Economic Impacts and Employment Growth**. 2017.